

3100000011879

TESIS

ANALISA SIMULASI MULTIMESIN SELAMA GANGGUAN PADA SUPLAI LISTRIK

Oleh :

IDA BAGUS GEDE MANUABA

NRP : 2296 201 007

RT
621.460.11
Man
2-1
1999

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	6-7-2000
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	21.724



PROGRAM PASCASARJANA
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1999



LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA SIMULASI MULTIMESIN SELAMA GANGGUAN PADA SUPLAI LISTRIK

TESIS

Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Magister Teknik (M.T.)

di

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

Oleh :

IDA BAGUS GEDE MANUABA

NRP : 2296.201.007

Dosen Pembimbing

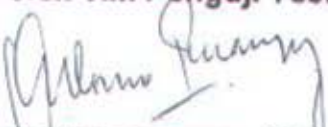


Ir. Soebagio, MSEE., Ph.D.
NIP. 130 325 607

Tanggal Ujian : 1 Juni 1999

Periode Wisuda : September 1999

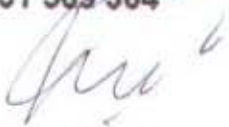
Disetujui oleh Tim Penguji Tesis :



Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
NIP. 130 520 748

DR. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
NIP. 131 569 364

Direktur Program Pascasarjana



Ir. Margo Pujiantoro, M.T.
NIP. 131 925 501



Prof. DR. Ir. Rachimoellah, Dipl.Est
NIP. 130 604 245



ABSTRACT

ANALYSIS SIMULATION OF MULTIMACHINE DURING POWER SUPPLY DISTURBANCE

By : Ida Bagus Gede Manuaba
Under the supervision advisor : Ir. Soebagio, MSEE, PhD

Abstract

Induction motor are widely applied in industry because it is simple in construction, cheap, robust and free maintenance. In this application, it can be as a single load or it can be a group of loads or multimachines. Induction motor is running well with good performance, but sometime power supply had momentary fault such as three phase fault and single phase to ground fault. The faults occur in a few second so that an influence performances of multimachine.

I see that influences while it is disturbances occur in power supply can be done with simulation of multimachine. The multimachine models is represented in reference frame theory with q-d-n coordinate.

The result of simulation showing that characteristics of multimachine during momentary fault, achieved that capability of multimachine still operate is influenced by moment of inertia, period of fault, and magnitude of loads.



ABSTRAK

ANALISA SIMULASI MULTIMESIN SELAMA GANGGUAN PADA SUPLAI LISTRIK

Oleh

Dosen Pembimbing

: Ida Bagus Gede Manuaba

: Ir. Soebagio, MSEE, PhD

ABSTRAK

Motor induksi banyak dipakai dalam industri karena konstruksinya yang sederhana, agak murah, bandel, kokoh (robust) dan bebas pemeliharaan. Dalam penggunaannya motor induksi dapat sebagai beban tunggal atau seringkali merupakan kelompok beban atau multimesin. Motor induksi beroperasi dengan baik bila mendapat daya dari sumber yang normal, tetapi kadangkala sumber dayanya mengalami gangguan sesaat yang berupa gangguan tiga fasa terbuka dan gangguan satu fasa ke tanah. Terjadinya gangguan yang berlangsung dalam detik tentu akan mempengaruhi unjuk kerja multimesin tersebut.

Untuk dapat melihat pengaruh ketika sisi suplainya mengalami gangguan tiga fasa terbuka dan satu fasa ke tanah dilakukan dengan membuat simulasi multimesin. Dimana model multimesin dipresentasikan dalam teori kerangka acuan dengan sumbu koordinat qdn.

Hasil simulasi menampilkan karakteristik multimesin selama gangguan tiga fasa terbuka dan satu fasa ke tanah sementara, terlihat bahwa kemampuan multimesin tersebut untuk tetap beroperasi dipengaruhi oleh momen inersia, lama gangguan dan besarnya beban.



KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan bimbingannya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul :

ANALISA SIMULASI MULTIMESIN SELAMA GANGGUAN PADA SUPLAI LISTRIK

Penyusunan Tesis ini merupakan salah satu persyaratan akademis untuk memperoleh gelar master pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Program Studi Teknik Elektro, Program Pasca sarjana, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Akhirnya penulis berharap semoga buku Tesis ini bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Juni 1999

Penulis



UCAPAN TERIMAKASIH

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan segenap kesungguhan dan kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya atas segala bimbingan, bantuan serta dukungannya kepada :

1. Bapak Ir. Soebagio, MSEE, PhD, selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama penyusunan Tesis ini.
2. Bapak Ir. Ontoseno Penangsang, MSc, PhD, selaku Dosen Wali
3. Bapak Dr. Ir. Achmad Jazidie sebagai Koordinator Program Pasca sarjana Program Studi Teknik Elektro FTI ITS
4. Ibu dan istriku yang selalu memberikan dorongan moril maupun materiil, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi
5. Nyoman Piarsa, facta, eka giri, kantu, sutama, dodiek, bobi dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Akhirnya dengan kesungguhan hati penulis berharap agar Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan rahmat-Nya, serta membalas segala budi baik yang telah diberikan.

Surabaya, Juni 1999



DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
BAB II SIMULASI MOTOR INDUKSI DALAM KERANGKA ACUAN	4
2.1 Perkembangan Model Motor Induksi Tiga Phasa	4
2.2 Teori Kerangka Acuan	7
2.2.1 Sistem Koordinat Bebas	7
2.2.2 Sistem Koordinat q-d-n	9
2.3 Presentasi Dari Mesin Induksi	15
2.3.1 Persamaan Motor Induksi Pada Sumbu a-b-c	15
2.3.2 Persamaan Motor Induksi Pada Sumbu q-d-n	17
2.3.3 Persamaan Untuk Energi Konversi	20

2.3.4 Persamaan Untuk Simulasi Motor Induksi Dalam Koordinat q-d-n	21
2.3.5 Unjuk Kerja Motor Induksi Dalam Kondisi Normal	24
2.4 Presentasi Multimesin	28
2.4.1 Model Matematika Multimesin	30
2.4.2 Unjuk Kerja Multimesin Dalam Kondisi Normal	33

BAB III UNJUK KERJA MULTIMESIN SELAMA

SUPPLAI LISTRIK MENGALAMI GANGGUAN	34
3.1 Jenis Gangguan Pada Suplai Listrik	34
3.1.1 Gangguan Satu Fasa Ke Tanah	34
3.1.2 Gangguan Tiga Fasa Terbuka	35
3.2 Simulasi	36
3.2.1 Perhitungan Transient	36
3.2.2 Data Mesin	36
3.2.3 Flow Chart Program	38
3.3 Hasil Simulasi	43
3.3.1 Karakteristik Tegangan Saluran	43
3.3.2 Karakteristik Arus Saluran	44
3.3.3 Karakteristik Arus Stator	45
3.3.3.1 Karakteristik Arus Stator I_{AS}	45
3.3.3.2 Karakteristik Arus Stator I_{BS}	46
3.3.3.3 Karakteristik Arus Stator I_{CS}	47
3.3.4 Karakteristik Torsi Terhadap Waktu	48

3.3.5 Karakteristik Torsi vs Kecepatan Sudut	49
3.3.6 Karakteristik Kecepatan Sudut Terhadap Waktu	50
3.4 Analisa	51
BAB IV KESIMPULAN	53
4.1 Kesimpulan	53
4.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	54
LAMPIRAN	57



DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1	Tiga rangkaian R-L yang identik	7
Gambar 2-2	Tiga fasor tegangan \bar{v}_{an} , \bar{v}_{bn} dan \bar{v}_{cn} dalam sistem koordinat abc	8
Gambar 2-3	Tiga fasor tegangan \bar{v}_{an} , \bar{v}_{bn} dan \bar{v}_{cn} Dalam sistem koordinat qdn	11
Gambar 2-4	Motor Induksi tiga fasa simetri dengan Rangkaian stator berputar	15
Gambar 2-5	Stator dan rotor dilihat dari sumbu n	19
Gambar 2-6	Karakteristik keluaran motor Induksi	25
Gambar 2-7	Karakteristik keluaran motor Induksi tanpa beban	26
Gambar 2-8	Karakteristik keluaran motor Induksi dengan beban	27
Gambar 2-9	Konfigurasi dari sistem daya yang kecil	28
Gambar 2-10	Gambaran Umum	29
Gambar 2-11	Konfigurasi penjumlahan arus	30
Gambar 2-12	Rangkaian Multimesin	30
Gambar 2-13	Unjuk kerja Multimesin dalam kondisi normal	33
Gambar 3-1	Rangkaian stator ketika terjadi gangguan satu fasa ke tanah ..	34
Gambar 3-2	Rangkaian stator ketika terjadi gangguan tiga fasa terbuka ...	35
Gambar 3-3	Karakteristik tegangan saluran v_{abcs} vs waktu	43
Gambar 3-4	Karakteristik arus saluran i_{abcs} vs waktu	44

Gambar 3-5	Karakteristik arus stator I_{as} vs waktu	45
Gambar 3-6	Karakteristik arus stator I_{bs} vs waktu	46
Gambar 3-7	Karakteristik arus stator I_{cs} vs waktu	47
Gambar 3-8	Karakteristik torsi vs waktu	48
Gambar 3-9	Karakteristik torsi vs kecepatan sudut	49
Gambar 3-10	Karakteristik kecepatan sudut vs waktu	50



DAFTAR TABEL

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Parameter Motor Induksi	24
Tabel 2	Parameter Multimesin	33
Tabel 3	Parameter Mesin Induksi	37



BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

Motor induksi banyak dipakai dalam industri karena konstruksinya yang sederhana, agak murah, kokoh (robust) dan bebas dari pemeliharaan. Kadang-kadang motor induksi dalam industri dapat merupakan beban tunggal dalam sistem. Namun seringkali dapat merupakan semacam grup beban atau multimesin, misalnya dalam pabrik gula. Motor induksi biasanya beroperasi dengan baik dengan kecepatan konstan bila mendapat daya dari sumber yang normal dengan kualitas yang baik. Namun kadangkala bahwa sumber daya (power supply) mengalami gangguan sesaat, misalnya gangguan tiga fasa terbuka dan gangguan satu fasa ke tanah. Gangguan tersebut tentu saja akan menyebabkan unjuk kerja dari mesin juga mengalami gangguan. Karena itu diperlukan suatu simulasi yang akurat untuk memprediksikan respon dari masing-masing mesin bila sumber daya mengalami gangguan.

Beberapa model telah dikembangkan untuk membuat simulasi dalam beberapa penelitian-penelitian untuk motor induksi seperti yang dilakukan PC Krause [10] menggunakan model $q-d-n$ untuk mempresentasikan motor induksi dalam kondisi normal. Lain halnya dengan R.H Daugherty [8] yang meninjau motor induksi dalam kondisi transient ketika terjadi gangguan disisi suplai. Sedangkan Akpinar, K., P. Pillay dan G.G. Richard [19] mempresentasikan motor induksi dengan drive ketika disisi suplai mengalami gangguan. Sedangkan untuk multimesin seperti Gill G

Richard [12] menawarkan model yang sederhana untuk kelompok motor induksi selama terjadinya bus transfer. Beda dengan E. Apkinar, P. Pillay, dan S.M.A Sabur [21] yang mempresentasikan model dari multimesin ketika sisi suplainya mengalami gangguan. Disini mereka menggunakan gabungan model *abc* dan model *q-d-n* dengan penekanan pada model *abc*nya, sehingga agak sedikit rumit.

Mengingat selama ini model *q-d-n* banyak digunakan untuk studi transient motor tunggal, untuk itu dalam penelitian ini model *q-d-n* dari motor induksi ini digunakan untuk menganalisa multimesin yang terhubung ke bus yang sama.

Sasaran dari penelitian yang akan dilakukan adalah membuat simulasi multi mesin ketika sisi suplainya mengalami gangguan tiga fasa terbuka dan satu fasa ke tanah. Sehingga dari simulasi ini dapat dilihat respon multimesin yang terdiri dari tiga motor induksi terhadap gangguan yang terjadi.

Pada penelitian ini dibatasi pada sekelompok motor yang terhubung pada bus yang sama sehingga memiliki tegangan kerja yang sama dan diasumsikan memikul beban tetap dan pada saat terjadi gangguan proteksi tegangan rendah (under voltage) dan pengatur kecepatan motor tidak bekerja.

Sebelum membahas model multimesin akan dibahas terlebih dahulu kerangka acuan atau sistem koordinat dari sistem, seperti koordinat kartesian *abc* dan koordinat *q-d-n* serta bagaimana melakukan transformasi dari kedua sistem koordinat. Kemudian membuat model motor induksi untuk mesin tunggal dan multimesin berdasarkan kerangka acuan tersebut. Selanjutnya untuk mengetahui model yang dibuat sudah bekerja dengan baik atau tidak, hasil yang diperoleh dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari beberapa referensi. Ini semua dibahas dalam bab 2.

Pada bab 3 dibahas mengenai unjuk kerja multimesin bila terjadi gangguan pada sumber dayanya (*power supply*) dan menguraikan tentang alur yang digunakan untuk melakukan simulasi multimesin serta menampilkan hasil simulasi multimesin pada kondisi sisi suplainya normal, saat gangguan tiga fasa terbuka dan ketika mengalami gangguan satu fasa ke tanah. Mengenai kesimpulan dan saran tentang penelitian terhadap multimesin selama gangguan pada suplai listrik terdapat pada bab 4.



BAB II

SIMULATOR MOTOR INDUKSI DALAM KERANGKA ACUAN

BAB II

SIMULASI MOTOR INDUKSI DALAM KERANGKA ACUAN (REFERENCE FRAME THEORY)

2.1 Perkembangan Model Motor Induksi Tiga Fasa

Analisa mesin induksi secara konvensional dilakukan dengan menggunakan suatu model matematis yang berupa rangkaian ekivalen, yang dikembangkan berdasarkan asumsi bahwa tegangan dari sumber adalah sinusoidal dan simetri. Karena itu analisa hanya dapat dilakukan untuk permasalahan yang terbatas, seperti permasalahan steady state. Sedangkan permasalahan yang timbul sebagai akibat adanya perubahan yang terjadi pada beban, pada sumber atau pada mesin itu sendiri tidak dapat dianalisa dengan menggunakan model tersebut. Begitu juga permasalahan yang timbul bila mesin dikemudikan oleh sumber yang tidak sinusoidal, tidak bisa dianalisa dengan model tersebut. Karena itu dibutuhkan suatu model lain, yang lebih luwes bagi mesin induksi, sehingga analisa untuk mesin secara menyeluruh dapat dilakukan.

Untuk melakukan analisa dari motor induksi, yang mendapatkan supply tegangan yang tidak simetri selalu digunakan metode komponen simetris (*symmetrical component method*), yang dikembangkan sejak tahun 1900 oleh Fortesque. Namun demikian untuk analisa dengan metode ini akan melibatkan suatu variabel kompleks (*complex variable*), sehingga bila dilakukan analisa secara numerik akan membuat model menjadi lebih rumit.

Sebagaimana yang kita ketahui bahwa karena adanya pergerakan relatif dari rotor terhadap stator dari suatu mesin listrik, maka beberapa induktansi dari mesin merupakan fungsi dari kecepatan rotor, dimana koefisien dari persamaan differensial yang terdapat dalam persamaan tegangan yang menjelaskan kelakuan dari mesin, adalah fungsi dari waktu, kecuali bila rotor dalam keadaan diam. Perubahan dari variabel sering digunakan untuk menyederhanakan persamaan differensial dari mesin.

Pada akhir tahun 1920, R.H. Park [1] memperkenalkan suatu pendekatan baru untuk analisa mesin listrik. Dia memformulasikan perubahan variabel yang mentransformasikan variabel-variabel dari kumparan stator (tegangan, arus, dan fluksi) pada kerangka acuan (*reference frame*) yang tetap pada rotor. Transformasi Park yang telah melahirkan revolusi dalam analisis mesin listrik, mempunyai sifat-sifat yang unik dalam mengeliminir semua induktansi yang bervariasi terhadap waktu dari persamaan tegangan dari mesin sinkron, yang terjadi karena: rangkaian listrik dalam pergerakan relatif dan rangkaian listrik dalam reluktansi magnetik (*magnetic reluctance*) yang berubah.

Pada akhir tahun 1930 H.C. Stanley [2] menggunakan variabel dalam analisis dari motor induksi. Dia menunjukkan bahwa induktansi yang berubah terhadap waktu dalam persamaan tegangan dari mesin induksi karena rangkaian listrik yang bergerak secara relatif, dapat dieliminir dengan melakukan transformasi terhadap variabel yang berhubungan dengan kumparan stationer fiktif. Dalam hal ini variabel rotor ditransformasikan pada suatu kerangka acuan (*reference frame*) yang tetap pada stator.

G. Kron [3] mengemukakan suatu perubahan variabel yang mengeleminir induktansi yang berubah terhadap waktu dari motor induksi yang simetri, dengan melakukan transformasi dari variabel stator pada kerangka acuan (*reference frame*) yang berputar secara sinkron dengan medan putar. Kerangka acuan (*reference frame*) ini dinyatakan sebagai kerangka acuan yang berputar dengan kecepatan sinkron (*synchronously rotating reference frame*).

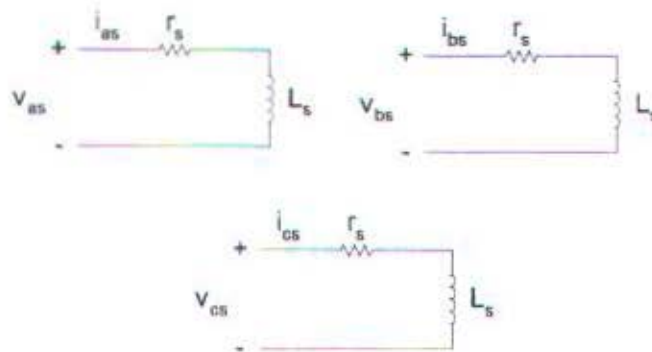
D.S. Brereton et al [4] memakai perubahan variabel untuk mengeliminir induktansi yang berubah terhadap waktu dari mesin induksi yang simetri dengan melakukan transformasi variabel stator pada kerangka acuan (*reference frame*) yang tetap pada rotor.

Park, Stanley, Kron dan Brereton et al mengembangkan perubahan variabel yang masing-masing muncul secara unik untuk suatu pemakaian khusus. Sebagai akibatnya tiap transformasi diturunkan dan diperlakukan secara terpisah dalam literatur sampai akhirnya ditunjukkan pada tahun 1965 [5] bahwa semua transformasi yang telah diketemukan diatas sebenarnya merupakan suatu bentuk transformasi umum yang mengeliminir induktansi yang berubah terhadap waktu dengan menyatakan variabel-variabel stator dan rotor pada suatu kerangka acuan (*reference frame*) yang mungkin berputar pada suatu kecepatan sudut tertentu atau dalam keadaan diam. Semua transformasi yang dikenal kemudian bisa diperoleh dengan mudah dengan menyatakan kecepatan perputaran yang sesuai, yang untuk itu disebut Kerangka acuan sembarang (*Arbitrary reference frame*) [6]

2.2 Teori Kerangka Acuan (Reference Frame Theory)

2.2.1 Sistem Koordinat Bebas

Sebelum membahas model matematis dari suatu mesin induksi, perlu kiranya kita tinjau terlebih dahulu rangkaian listrik seperti terlihat pada gambar 2-1



Gambar 2-1. Tiga rangkaian R-L yang identik

Rangkaian listrik tersebut terdiri dari tiga rangkaian yang sederhana dengan persamaan tegangan rangkaian sebagai berikut:

$$v_{as} = r_s i_{as} + L_s \frac{di_{as}}{dt} \quad (2.1)$$

$$v_{bs} = r_s i_{bs} + L_s \frac{di_{bs}}{dt} \quad (2.2)$$

$$v_{cs} = r_s i_{cs} + L_s \frac{di_{cs}}{dt} \quad (2.3)$$

Dimana subscript "s" menandakan bahwa rangkaian dalam keadaan stationer.

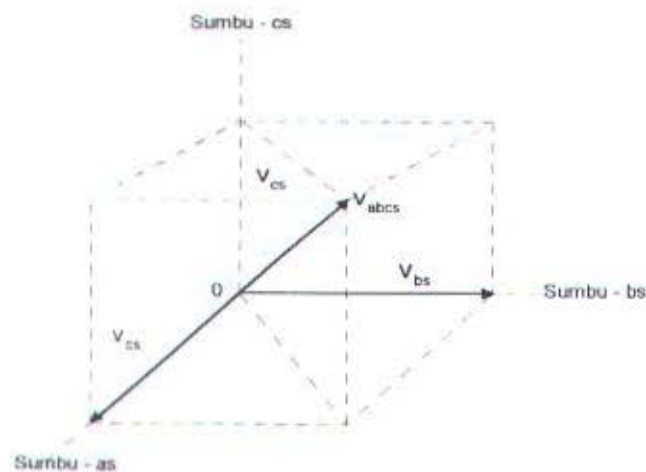
Selanjutnya rangkaian pada gambar 2-1 dihubungkan dengan suatu sumber tegangan tiga fasa yang simetri dimana masing-masing fasanya dinyatakan oleh:

$$v_{as} = V_s \cos \omega_e t \quad (2.4)$$

$$v_{bs} = V_s \cos(\omega_e t - 2\pi/3) \quad (2.5)$$

$$v_{cs} = V_s \cos(\omega_e t + 2\pi/3) \quad (2.6)$$

Kemudian kita tempatkan fasor tegangan \bar{v}_{as} , \bar{v}_{bs} dan \bar{v}_{cs} berturut-turut pada sumbu a , b dan c dari suatu sistem koordinat a - b - c seperti terlihat pada gambar 2-2.



Gambar 2-2. Tiga fasor tegangan \bar{v}_{as} , \bar{v}_{bs} dan \bar{v}_{cs} dalam sistem koordinat a - b - c

Misalkan bahwa fasor tegangan \bar{v}_{as} , \bar{v}_{bs} dan \bar{v}_{cs} merupakan komponen dari fasor tegangan \bar{V}_{abcs} dalam ruang, maka dapat dituliskan sebagai berikut

$$\bar{V}_{abcs} = v_{as} \bar{u}_{as} + v_{bs} \bar{u}_{bs} + v_{cs} \bar{u}_{cs} \quad (2.7)$$

Dimana \bar{u} adalah vektor satuan dalam sistem koordinat tersebut.

Atau

$$\bar{V}_{abcs} = V_s \left[\cos \omega_e t \bar{u}_{as} + \cos(\omega_e t - 2\pi/3) \bar{u}_{bs} + \cos(\omega_e t + 2\pi/3) \bar{u}_{cs} \right] \quad (2.8)$$

Adapun besar dari fasor tegangan \bar{V}_{abc} adalah

$$|\bar{V}_{abc}| = \sqrt{\bar{v}_{ax} + \bar{v}_{bx} + \bar{v}_{cx}} = \sqrt{\frac{3}{2}} v_s \quad (2.9)$$

2.2.2 Sistem Koordinat q-d-n

Mengingat besar fasor tegangan \bar{v}_{ax} , \bar{v}_{bx} dan \bar{v}_{cx} selalu berubah-ubah terhadap waktu maka timbul pertanyaan bagaimana kondisi dari fasor tegangan \bar{V}_{abc} tersebut. Dalam referensi [9] diperlihatkan bahwa fasor tegangan \bar{V}_{abc} adalah suatu fasor dengan magnitud yang konstan dan berputar pada suatu bidang datar yang melalui titik (0,0,0) dalam koordinat $a-b-c$.

Mengingat bahwa fasor tegangan \bar{V}_{abc} adalah suatu fasor yang konstan dan berputar pada suatu bidang datar, maka dianggap perlu untuk melakukan perubahan sistem koordinat yakni dari sistem koordinat $a-b-c$ ke sistem koordinat yang baru dengan sumbu-sumbu q , d dan n . Dalam sistem koordinat baru fasor \bar{V}_{abc} mempunyai komponen-komponen

$$\bar{v}_{qs} = \bar{V}_{abc} \quad (2.10)$$

$$\bar{v}_{ds} = \frac{d\bar{V}_{abc}}{dt} \quad (2.11)$$

$$\bar{v}_{ns} = \bar{v}_{ax} + \bar{v}_{bx} + \bar{v}_{cx} \quad (2.12)$$

Berdasarkan persamaan (2.10), (2.11) dan (2.12) diperoleh

$$\bar{u}_q = \sqrt{\left(\frac{2}{3}\right)} \left[\cos \theta_e \bar{u}_{as} + \cos \left(\theta_e - \frac{2\pi}{3}\right) \bar{u}_{bs} + \cos \left(\theta_e + \frac{2\pi}{3}\right) \bar{u}_{cs} \right] \quad (2.13)$$

$$\frac{-d\bar{V}_{abcs}/dt}{|d\bar{V}_{abcs}/dt|} = \frac{\omega_e V_s}{\sqrt{(3/2)} \omega_e V_s} \left[\sin \theta_e \bar{u}_{as} + \sin(\theta_e - 2\pi/3) \bar{u}_{bs} + \sin(\theta_e + 2\pi/3) \bar{u}_{cs} \right] \quad (2.14)$$

atau

$$\bar{u}_d = \sqrt{(2/3)} \left[\sin \theta_e \bar{u}_{as} + \sin(\theta_e - 2\pi/3) \bar{u}_{bs} + \sin(\theta_e + 2\pi/3) \bar{u}_{cs} \right] \quad (2.15)$$

$$\bar{u}_{as} = \sqrt{2/3} \left[\cos \theta_e \bar{u}_q + \sin \theta_e \bar{u}_d + 1/\sqrt{2} \bar{u}_n \right] \quad (2.16)$$

Hubungan kebalikannya adalah

$$\bar{u}_{as} = \sqrt{2/3} \left[\cos \theta_e \bar{u}_q + \sin \theta_e \bar{u}_d + 1/\sqrt{2} \bar{u}_n \right] \quad (2.17)$$

$$\bar{u}_{bs} = \sqrt{2/3} \left[\cos(\theta_e - 2\pi/3) \bar{u}_q + \sin(\theta_e - 2\pi/3) \bar{u}_d + 1/\sqrt{2} \bar{u}_n \right] \quad (2.18)$$

$$\bar{u}_{cs} = \sqrt{2/3} \left[\cos(\theta_e + 2\pi/3) \bar{u}_q + \sin(\theta_e + 2\pi/3) \bar{u}_d + 1/\sqrt{2} \bar{u}_n \right] \quad (2.19)$$

dimana $\theta_e = \omega_e t$

Karena itu dapat dituliskan bahwa

$$\bar{V}_{q\bar{d}cs} = v_{qs} \bar{u}_q + v_{ds} \bar{u}_d + v_{ns} \bar{u}_n \quad (2.20)$$

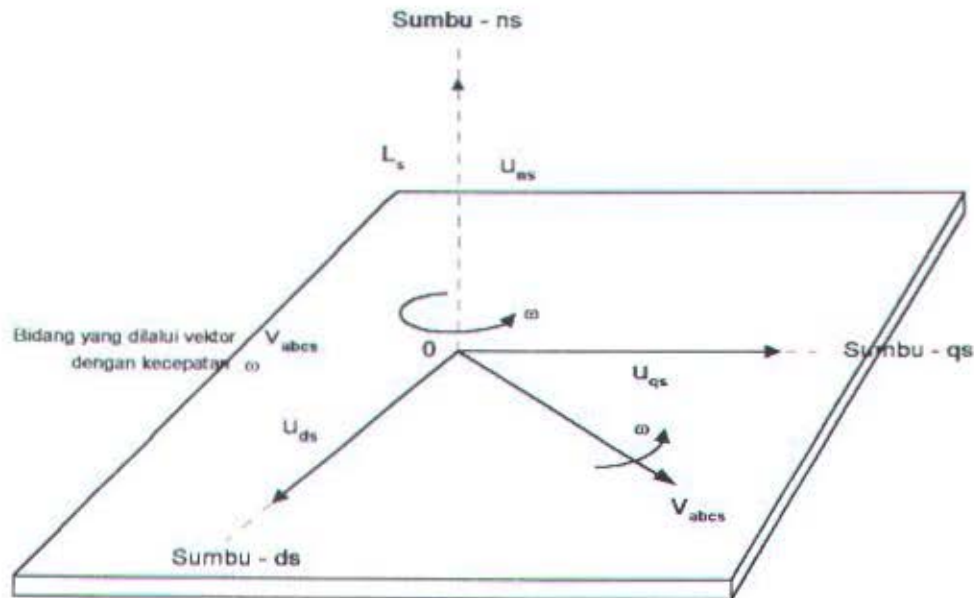
dimana:

$$v_{qs} = \sqrt{2/3} \left[v_{as} \cos \theta_e + v_{bs} \cos(\theta_e - 2\pi/3) + v_{cs} \cos(\theta_e + 2\pi/3) \right] \quad (2.21)$$

$$v_{ds} = \sqrt{2/3} \left[v_{as} \sin \theta_e + v_{bs} \sin(\theta_e - 2\pi/3) + v_{cs} \sin(\theta_e + 2\pi/3) \right] \quad (2.22)$$

$$v_{ns} = \sqrt{1/3} [v_{as} + v_{bs} + v_{cs}] \quad (2.23)$$

Sistem Koordinat yang baru dapat diperlihatkan pada gambar 2-3



Gambar 2-3. Tiga fasor tegangan \bar{v}_{qs} , \bar{v}_{ds} dan \bar{v}_{ns} dalam sistem koordinat $q-d-n$

Persamaan (2.21), (2.22) dan (2.23) dapat dipakai sebagai definisi secara formal dari tegangan v_{qs} , v_{ds} dan v_{ns} . Namun demikian perlu dilakukan sedikit modifikasi sebagai berikut:

1. Perlu diingat bahwa kita mulai menurunkan persamaan dengan menganggap bahwa tegangan dalam keadaan simetri. Secara khusus $\theta_e = \omega_e t$, dimana ω_e adalah frekwensi sudut dari sumber. Secara umum tidak perlu menyamakan kecepatan dari sistem koordinat dengan kecepatan vektor. Dalam definisi dari v_{qs} , v_{ds} dan v_{ns} kita akan menyatakan :

$$\theta = \int_0^t \omega \, dt \quad (2.24)$$

dimana ω adalah sembarang, dan $\theta(0) = 0$.

2. Keadaan simetri dari sistem tiga fasa adalah suatu kondisi khusus, yang penting. Karenanya kita menginginkan untuk mendapatkan hasil semudah-mudahnya dalam sistem koordinat.

Bila kita substitusikan persamaan (2.1), (2.2) dan (2.3) pada persamaan (2.21), (2.22) dan (2.23), maka diperoleh:

$$v_{es} = \sqrt{\left(\frac{2}{3}\right)} V_s \cos (\theta - \theta_e) \quad (2.25)$$

$$v_{ds} = \sqrt{\left(\frac{2}{3}\right)} V_s \sin (\theta - \theta_e) \quad (2.26)$$

$$v_{ns} = 0 \quad (2.27)$$

Perlu dicatat bahwa tegangan dalam sistem koordinat $a-b-c$, \bar{V}_{abc} mempunyai amplitudo $\sqrt{\frac{3}{2}} v_s$, begitu juga pada koordinat $d-q-n$ mempunyai amplitudo $\sqrt{\frac{3}{2}} v_s$. Karena itu perlu dilakukan perubahan skala, yakni dengan mengalikan tegangan dengan faktor $\sqrt{\left(\frac{2}{3}\right)}$, sehingga diperoleh:

$$\left| \bar{V}_{qdnu} \right| = \sqrt{\left(\frac{3}{2}\right)} v_s \cdot \sqrt{\left(\frac{2}{3}\right)} = v_s \quad (2.28)$$

dari persamaan (2.21), (2.22) dan (2.23), maka komponen-komponen dari \bar{V}_{qdnu} menjadi:

$$v_{qs}^* = \frac{2}{3} \left[v_{as}^* \cos \theta + v_{bs}^* \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) + v_{cs}^* \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \right] \quad (2.29)$$

$$v_{ds}^* = \frac{2}{3} \left[v_{as}^* \sin \theta + v_{bs}^* \sin \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) + v_{cs}^* \sin \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \right] \quad (2.30)$$

$$v_{ns}^* = \frac{2}{3} \left[v_{as}^* + v_{bs}^* + v_{cs}^* \right] \quad (2.31)$$

dimana superscript “ ’ ” menyatakan bahwa variabel dinyatakan dalam sistem koordinat dengan skala yang baru. Hubungan kebalikannya adalah:

$$\dot{v}_{as} = \dot{v}_{qs} \cos \theta + \dot{v}_{ds} \sin \theta + \dot{v}_{ns} / \sqrt{2} \quad (2.32)$$

$$\dot{v}_{bs} = \dot{v}_{qs} \cos(\theta - 2\pi/3) + \dot{v}_{ds} \sin(\theta - 2\pi/3) + \dot{v}_{ns} / \sqrt{2} \quad (2.33)$$

$$\dot{v}_{cs} = \dot{v}_{qs} \cos(\theta + 2\pi/3) + \dot{v}_{ds} \sin(\theta + 2\pi/3) + \dot{v}_{ns} / \sqrt{2} \quad (2.34)$$

Pernyataan yang sama dapat dituliskan untuk arus dan fluksi.

Besaran-besaran \dot{v}_{qs} , \dot{v}_{ds} dan \dot{v}_{ns} disebut berturut-turut sebagai komponen pada sumbu antar-kutub (*quadrature-axis*), sumbu kutub (*direct-axis*) dan sumbu netral. Term tersebut muncul sesuai dengan analisa pada mesin listrik. Untuk pemakaian selanjutnya tanda “ ’ ” pada tegangan dihilangkan.

Dari uraian diatas dapat dikatakan bahwa adanya transformasi dari besaran pada sistem koordinat *a-b-c* ke sistem koordinat *q-d-n* dan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\bar{f}_{abc} = T(\theta) \bar{f}_{qdn} \quad (2.35)$$

dimana variabel f dapat berupa variabel tegangan, arus atau fluksi, dan $T(\theta)$ memiliki nilai sebagai berikut:

$$T(\theta) = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta - 2\pi/3) & \cos(\theta + 2\pi/3) \\ \sin \theta & \sin(\theta - 2\pi/3) & \sin(\theta + 2\pi/3) \\ 1/2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.36)$$

Sedangkan transformasi kebalikannya adalah:

$$\bar{f}_{qdras} = T(\theta)^{-1} \bar{f}_{abcx} \quad (2.37)$$

dimana:

$$T(\theta)^{-1} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 1/\sqrt{2} \\ \cos(\theta - 2\pi/3) & \sin(\theta - 2\pi/3) & 1/\sqrt{2} \\ \cos(\theta + 2\pi/3) & \sin(\theta + 2\pi/3) & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix} \quad (2.38)$$

$T(\theta)$ juga memiliki karakteristik penting sebagai berikut :

$$1. \quad T(\theta)^{-1} = \frac{3}{2} T(\theta)^t \quad (2.39)$$

$$2. \quad T(\theta) \frac{dT(\theta)^{-1}}{dt} = \begin{bmatrix} 0 & \omega & 0 \\ -\omega & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \overline{\omega x} \quad (2.40)$$

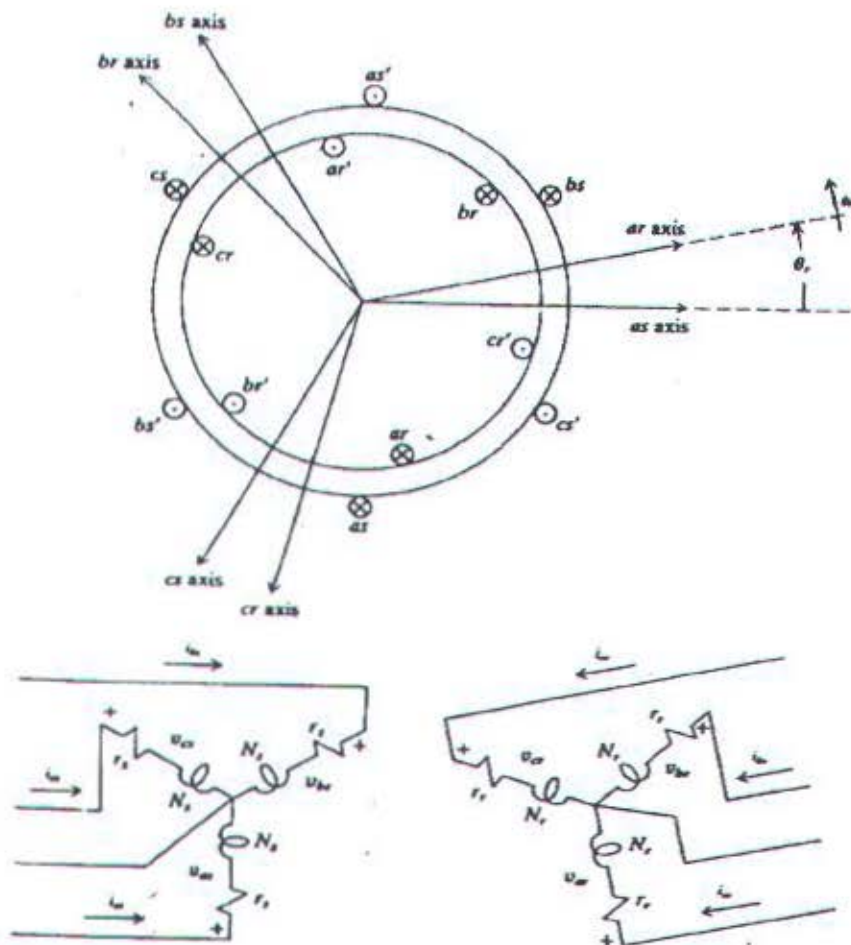
$$3. \quad \frac{dT(\theta)}{dt} T(\theta)^{-1} = -\overline{\omega x} \quad (2.41)$$

Bila diatur nilai $\theta = \theta_s$, maka sistem koordinat disebut stasioner (*stationary reference frame*), dinyatakan dengan subcript "s". Bila di atur $\theta = \theta_e = \omega_e t$ (dengan ω_e merupakan kecepatan sudut dari sumber), maka sistem koordinat tersebut dikatakan sebagai berputar dengan kecepatan sinkron (*synchronously rotating reference frame*) dengan subcript "e" untuk menyatakannya. Bila diatur $\theta = \theta_r = \omega_r t$ (kecepatan rotor dari suatu motor arus bolak balik) maka sistem koordinat tersebut disebut sistem koordinat berputar (*rotating reference frame*). Dan digunakan subcript "r" untuk menyatakannya.

2.3 Presentasi Dari Mesin Induksi

2.3.1 Persamaan Motor Induksi Pada Sumbu a-b-c

Kita tinjau suatu motor induksi tiga fasa yang simetri, dengan rangkaian rotor yang berputar. Rangkaian stator digambarkan sepanjang sumbu-sumbu a_s , b_s dan c_s . Dan rangkaian rotor digambarkan sepanjang sumbu-sumbu a_r , b_r dan c_r , seperti yang terlihat pada gambar 2-4. Besar tegangan, arus dan fluksi dapat dinyatakan dalam skala pada sumbu-sumbu yang bersangkutan.



Gambar 2-4. Motor induksi tiga fasa yang simetri dengan rangkaian rotor yang berputar

Untuk memudahkan analisis pada umumnya belitan stator dan rotor mesin induksi tiga fasa dihubungkan dalam bentuk sistem tiga kawat simetri seperti gambar 2-4. Dalam masing-masing belitan stator yang identik terdapat sejumlah lilitan yang identik (N_s), tahanan yang identik (r_s), induktansi bocor yang identik (L_{ls}), dan induktansi diri yang identik (L_s). Demikian pula pada masing-masing belitan rotor terdapat sejumlah lilitan yang identik (N_r), tahanan yang identik (r_r), induktansi bocor yang identik (L_{lr}), dan induktansi diri yang identik (L_r).

Persamaan dari tegangan stator dan rotor adalah :

$$\bar{V}_{abc} = r_s \bar{i}_{abc} + \frac{d\bar{\lambda}_{abc}}{dt} \quad (2.42)$$

$$\bar{V}_{abr} = r_r \bar{i}_{abr} + \frac{d\bar{\lambda}_{abr}}{dt} \quad (2.43)$$

dimana

$$\bar{\lambda}_{abc} = \bar{L}_s \bar{i}_{abc} + \bar{L}_{sr} \bar{i}_{abr} \quad (2.44)$$

$$\bar{\lambda}_{abr} = \bar{L}_{sr} \bar{i}_{abc} + \bar{L}_r \bar{i}_{abr} \quad (2.45)$$

dan

$$\bar{V}_{abc} = [V_{as} \quad V_{bs} \quad V_{cs}]^t \quad (2.46)$$

$$\bar{i}_{abc} = [i_{as} \quad i_{bs} \quad i_{cs}]^t \quad (2.47)$$

dan seterusnya.

Matriks L_s dan L_r dapat dinyatakan sebagai [4]

$$\bar{L}_{ss} = \begin{bmatrix} L_{ls} + L_{ms} & -L_{ms}/2 & -L_{ms}/2 \\ -L_{ms}/2 & L_{ls} + L_{ms} & -L_{ms}/2 \\ -L_{ms}/2 & -L_{ms}/2 & L_{ls} + L_{ms} \end{bmatrix} \quad (2.48)$$

dan

$$\bar{L}_{rr} = \begin{bmatrix} L_{lr} + L_{mr} & -L_{mr}/2 & -L_{mr}/2 \\ -L_{mr}/2 & L_{lr} + L_{mr} & -L_{mr}/2 \\ -L_{mr}/2 & -L_{mr}/2 & L_{lr} + L_{mr} \end{bmatrix} \quad (2.49)$$

Karena rangkaian rotor dapat berputar relatif terhadap rangkaian stator, yang stationer maka matrik \bar{L}_{sr} tidak lagi konstan, tetapi merupakan fungsi dari sudut mekanis dari rotasi, θ_r , sehingga dapat dinyatakan oleh:

$$\bar{L}_{sr} = L_{sr} \begin{bmatrix} \cos \theta_r & \cos(\theta_r + 2\pi/3) & \cos(\theta_r - 2\pi/3) \\ \cos(\theta_r - 2\pi/3) & \cos \theta_r & \cos(\theta_r + 2\pi/3) \\ \cos(\theta_r + 2\pi/3) & \cos(\theta_r - 2\pi/3) & \cos \theta_r \end{bmatrix} \quad (2.50)$$

dimana

$$\theta_r = \theta_{rm} P/2 \quad (2.51)$$

dan P adalah jumlah kutub magnet dari mesin

2.3.2 Persamaan Motor Induksi Pada Sumbu d-q-n

Dengan menggunakan transformasi dari sistem koordinat $a-b-c$ ke sistem koordinat $d-q-n$, yaitu persamaan (2.35) $\bar{f}_{qdns} = T(\theta)^{-1} \bar{f}_{abcs}$ dimana variabel f dapat berupa tegangan, arus maupun fluksi. Misalnya untuk tegangan stator

$$T(\theta) \bar{v}_{abcs} = T(\theta) r_s \bar{i}_{abcs} + T(\theta) \frac{d\bar{\lambda}_{abcs}}{dt} \quad (2.52)$$

$$\bar{v}_{qdr} = T(\theta) r_s T(\theta)^{-1} \bar{i}_{qdr} + T(\theta) \frac{dT(\theta)^{-1}}{dt} \bar{i}_{qdr} \quad (2.53)$$

$$\bar{v}_{qdr} = r_s \bar{i}_{qdr} + T(\theta) \frac{dT(\theta)^{-1}}{dt} \bar{\lambda}_{qdr} + T(\theta) T(\theta)^{-1} \frac{d\bar{\lambda}_{qdr}}{dt} \quad (2.54)$$

karena $T(\theta) \frac{dT(\theta)^{-1}}{dt} = \bar{\omega}$ maka

$$\bar{v}_{qdr} = r_s \bar{i}_{qdr} + \bar{\omega} \bar{\lambda}_{qdr} + \frac{d\bar{\lambda}_{qdr}}{dt} \quad (2.55)$$

dengan cara yang sama untuk tegangan rotor menjadi:

$$\bar{v}_{qdr} = r_r \bar{i}_{qdr} + (\bar{\omega} - \bar{\omega}_r) \bar{\lambda}_{qdr} + \frac{d\bar{\lambda}_{qdr}}{dt} \quad (2.56)$$

Sehingga persamaan tegangan untuk motor induksi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$v_{qs} = r_s i_{qs} + \frac{d\lambda_{qs}}{dt} + \omega \lambda_{ds} \quad (2.57)$$

$$v_{ds} = r_s i_{ds} + \frac{d\lambda_{ds}}{dt} - \omega \lambda_{qs} \quad (2.58)$$

$$v_{ns} = r_s i_{ns} + \frac{d\lambda_{ns}}{dt} \quad (2.59)$$

$$v_{qr} = r_r i_{qr} + \frac{d\lambda_{qr}}{dt} + (\omega - \omega_r) \lambda_{dr} \quad (2.60)$$

$$v_{dr} = r_r i_{dr} + \frac{d\lambda_{dr}}{dt} - (\omega - \omega_r) \lambda_{qr} \quad (2.61)$$

$$v_{nr} = r_r i_{nr} + \frac{d\lambda_{nr}}{dt} \quad (2.62)$$

persamaan untuk fluksi adalah:

$$\lambda_{qs} = L_{ls} i_{qs} + L_m (i_{qs} + i_{qr}) \quad (2.63)$$

$$\lambda_{ds} = L_{ls} i_{ds} + L_m (i_{ds} + i_{dr}) \quad (2.64)$$

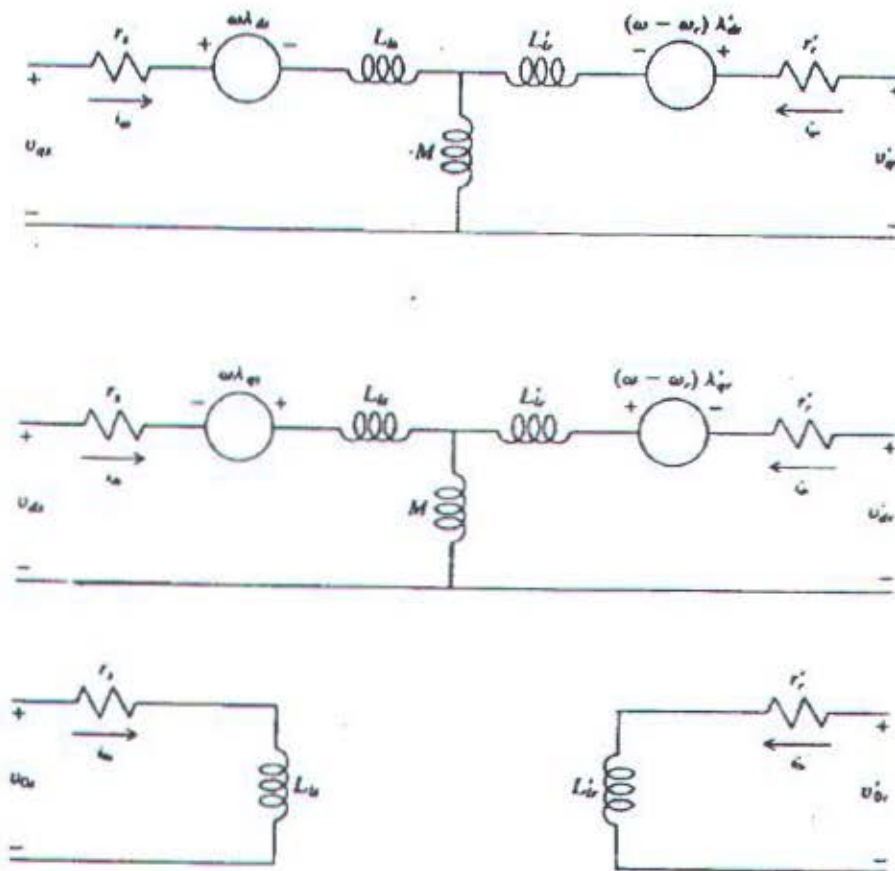
$$\lambda_{ns} = L_{ls} i_{ns} \quad (2.65)$$

$$\dot{\lambda}_{qr} = L_{lr} \dot{i}_{qr} + L_m (\dot{i}_{qs} + \dot{i}_{qr}) \quad (2.66)$$

$$\dot{\lambda}_{dr} = L_{lr} \dot{i}_{dr} + L_m (\dot{i}_{ds} + \dot{i}_{dr}) \quad (2.67)$$

$$\dot{\lambda}_{nr} = L_{lr} \dot{i}_{nr} \quad (2.68)$$

Dari persamaan tegangan dalam koordinat $d-q-n$ diatas selanjutnya dapat diperoleh rangkaian ekivalen mesin induksi seperti terlihat pada gambar 2-5.



Gambar 2-5. Rangkaian Ekivalen motor induksi tiga fasa dinyatakan dalam sisi stator

2.3.3 Persamaan untuk Energi Konversi

Sejauh ini kita telah menuliskan persamaan-persamaan untuk besaran listrik dalam mesin. Interaksi antara arus stator dan fluksi celah udara menghasilkan kopel. Yang bersama-sama dengan putaran menghasilkan energi konversi. Secara fisik kopel elektromagnetik dari mesin adalah cross product antara MMF stator dan fluksi celah udara. Dalam rangkaian ekuivalen, ini diterjemahkan sebagai cross product antara arus stator (mmf) dan mutual flux linkage pada celah udara. Jadi:

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} \bar{\lambda}_{m} \times \bar{i}_{qds} \quad (2.69)$$

disini faktor pengali $\frac{P}{2}$ muncul karena vektor fluksi dan arus berada pada semua pasang kutub dari mesin. Faktor $\frac{3}{2}$ timbul karena adanya perubahan skala dari sistem koordinat. Bila dituliskan secara eksplisit dalam term komponen-komponen q - d , maka :

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} (\lambda_{md} i_{qs} - \lambda_{mq} i_{ds}) \quad (2.70)$$

Beberapa bentuk persamaan lain, yang dapat dipakai adalah:

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} \bar{\lambda}_{qds} \times \bar{i}_{qds} \quad (2.71)$$

$$= \frac{3}{2} \frac{P}{2} (\lambda_{ds} i_{qs} - \lambda_{qs} i_{ds}) \quad (2.72)$$

atau

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} L_m \bar{i}_{qds} \times \bar{i}_{qds}' \quad (2.73)$$

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} L_m (i_{qs} \dot{i}_{dr} - i_{ds} \dot{i}_{qr}) \quad (2.74)$$

Persamaan gerakan elektro – mekanis dari mesin adalah:

$$T_e - T_l = \frac{2J}{P} \frac{d\omega_r}{dt} + \frac{2f}{P} \omega_r \quad (2.75)$$

dimana T_l adalah kopel beban, J adalah momen inerti dan f adalah koefisien peredam (bila ada).

2.3.4 Persamaan Untuk Simulasi Motor Induksi Dalam Sumbu Koordinat q-d-n

Ada beberapa cara merumuskan persamaan dari mesin induksi untuk tujuan simulasi komputer. Persamaan (2.58) - (2.69) selanjutnya dapat ditulis dalam bentuk fluksi sebagai berikut

$$\psi_{qs} = X_{ls} i_{qs} + X_M (i_{qs} + \dot{i}_{qr}) \quad (2.76)$$

$$\psi_{ds} = X_{ls} i_{ds} + X_M (i_{ds} + \dot{i}_{dr}) \quad (2.77)$$

$$\psi_{0s} = X_{ls} i_{0s} \quad (2.78)$$

$$\dot{\psi}_{qr} = X'_{lr} \dot{i}_{qr} + X_M (i_{qs} + \dot{i}_{qr}) \quad (2.79)$$

$$\dot{\psi}_{dr} = X'_{lr} \dot{i}_{dr} + X_M (i_{ds} + \dot{i}_{dr}) \quad (2.80)$$

$$\dot{\psi}_{0r} = X'_{lr} \dot{i}_{0r} \quad (2.81)$$

dapat ditulis:

$$i_{qs} = \frac{1}{X_{ls}} (\psi_{qs} - \psi_{mq}) \quad (2.82)$$

$$i_{ds} = \frac{1}{X_{ls}} (\psi_{ds} - \psi_{md}) \quad (2.83)$$

$$i_{0s} = \frac{1}{X_{ls}} \psi_{0s} \quad (2.84)$$

$$i'_{qr} = \frac{1}{X'_{lr}} (\psi'_{qr} - \psi_{mq}) \quad (2.85)$$

$$i'_{dr} = \frac{1}{X'_{lr}} (\psi'_{dr} - \psi_{md}) \quad (2.86)$$

$$i'_{0r} = \frac{1}{X'_{lr}} \psi'_{0r} \quad (2.87)$$

dimana ψ_{mq} dan ψ_{md} yang berguna ketika menunjukkan mutual yang dinyatakan dengan:

$$\psi_{mq} = X_M (i_{qs} + i'_{qr}) \quad (2.88)$$

$$\psi_{md} = X_M (i_{ds} + i'_{dr}) \quad (2.89)$$

Jika (2.82) - (2.87) digunakan untuk mengeleminasi arus pada (2.88) dan (2.89) sebalik dalam persamaan tegangan pada sumbu koordinat sembarang yaitu :

$$v_{qs} = r_s i_{qs} + \frac{\omega}{\omega_b} \psi_{ds} + \frac{P}{\omega_b} \psi_{qr} \quad (2.90)$$

$$v_{ds} = r_s i_{ds} - \frac{\omega}{\omega_b} \psi_{qs} + \frac{P}{\omega_b} \psi_{dr} \quad (2.91)$$

$$v_{0s} = r_s i_{0s} + \frac{P}{\omega_b} \psi_{0s} \quad (2.92)$$

$$v'_{qr} = r'_r i'_{qr} + \left(\frac{\omega - \omega_r}{\omega_b} \right) \psi'_{dr} + \frac{P}{\omega_b} \psi'_{qr} \quad (2.93)$$

$$\dot{v}_{dr} = r_r \dot{i}_{dr} - \left(\frac{\omega - \omega_r}{\omega_b} \right) \psi_{qr}' + \frac{P}{\omega_b} \psi_{dr}' \quad (2.94)$$

$$\dot{v}_{qr} = r_r \dot{i}_{0r} + \frac{P}{\omega_b} \psi_{0r}' \quad (2.95)$$

dimana ω_b adalah kecepatan sudut dasar yang digunakan untuk menghitung reaktansi induktif, dan jika persamaan tegangan yang dihasilkan diselesaikan untuk kumparan fluks per detik, persamaannya dapat ditulis sebagai berikut:

$$\psi_{qs} = \frac{\omega_b}{P} \left[v_{qs} - \frac{\omega}{\omega_b} \psi_{ds}' + \frac{r_s}{X_{ls}} (\psi_{mq}' - \psi_{qs}') \right] \quad (2.96)$$

$$\psi_{ds} = \frac{\omega_b}{P} \left[v_{ds} + \frac{\omega}{\omega_b} \psi_{qs}' + \frac{r_s}{X_{ls}} (\psi_{md}' - \psi_{ds}') \right] \quad (2.97)$$

$$\psi_{0s} = \frac{\omega_b}{P} \left[v_{0s} - \frac{r_s}{X_{ls}} \psi_{0s}' \right] \quad (2.98)$$

$$\psi_{qr}' = \frac{\omega_b}{P} \left[\dot{v}_{qr}' - \frac{\omega - \omega_r}{\omega_b} \psi_{dr}' + \frac{r_r}{X_{lr}} (\psi_{mq}' - \psi_{qr}') \right] \quad (2.99)$$

$$\psi_{dr}' = \frac{\omega_b}{P} \left[\dot{v}_{dr}' + \frac{\omega - \omega_r}{\omega_b} \psi_{qr}' + \frac{r_r}{X_{lr}} (\psi_{md}' - \psi_{dr}') \right] \quad (2.100)$$

$$\psi_{0r}' = \frac{\omega_b}{P} \left[\dot{v}_{0r}' - \frac{r_r}{X_{lr}} \psi_{0r}' \right] \quad (2.101)$$

persamaan (2.88) dan (2.89) bentuknya sekarang menjadi

$$\psi_{mq} = X_{aq} \left(\frac{\psi_{qs}'}{X_{ls}} + \frac{\psi_{qr}'}{X_{lr}} \right) \quad (2.102)$$

$$\psi_{md} = X_{ad} \left(\frac{\psi_{ds}}{X_{ls}} + \frac{\psi_{dr}'}{X_{lr}'} \right) \quad (2.103)$$

dimana

$$\psi_{dq} = \psi_{ad} = \left(\frac{1}{X_M} + \frac{1}{X_{ls}} + \frac{1}{X_{lr}'} \right)^{-1} \quad (2.104)$$

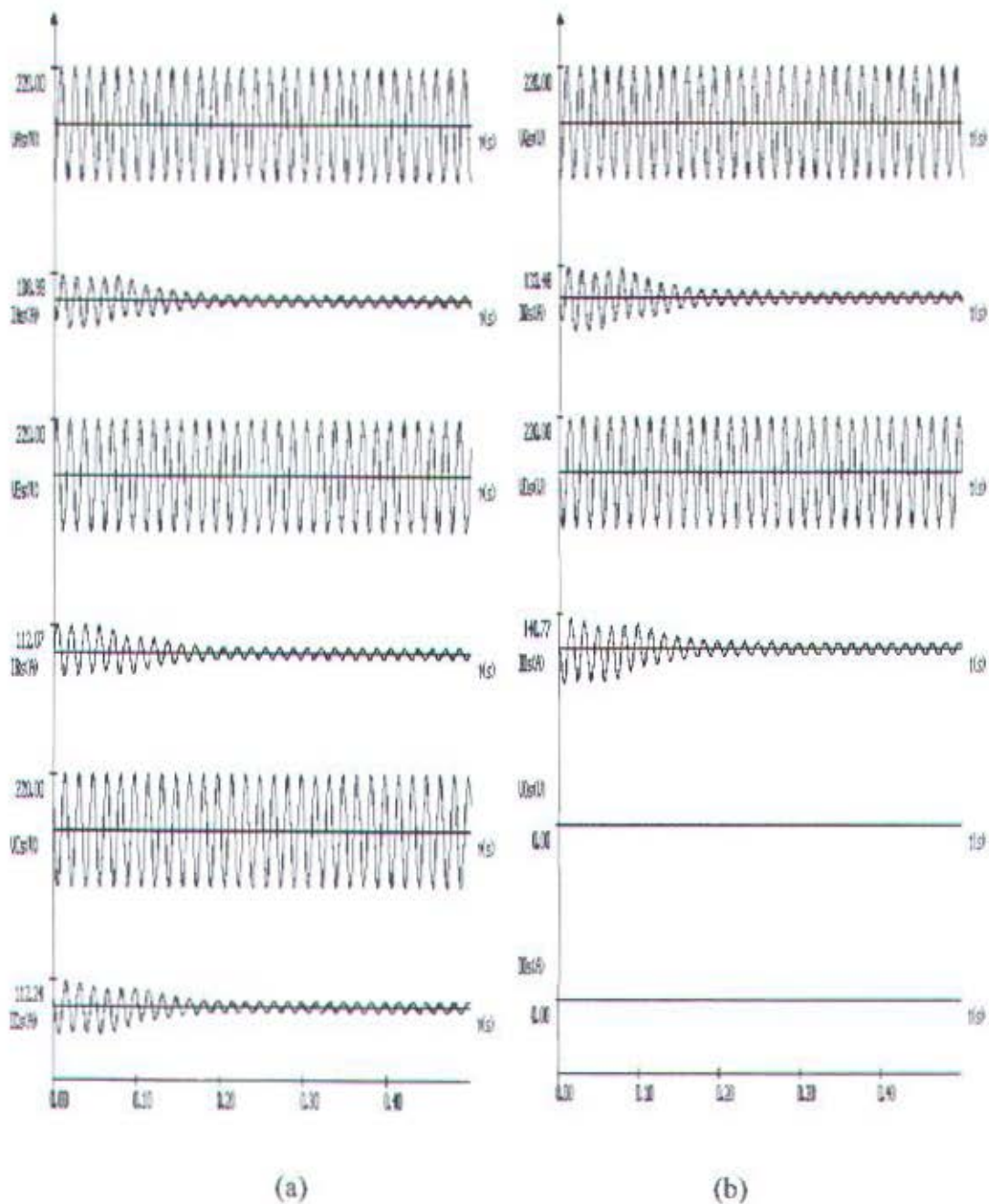
Dalam simulasi komputer, (2.96) - (2.101) digunakan untuk menyelesaikan kumparan fluks perdetik dan (2.82) - (2.87) digunakan untuk mendapatkan arus dari kumparan fluks perdetik.

2.3.5 Unjuk Kerja Motor Induksi 3 Phasa Dalam Kondisi Normal

Untuk melaksanakan simulasi motor induksi 3 phasa diperlukan parameter motor induksi sebagai berikut:

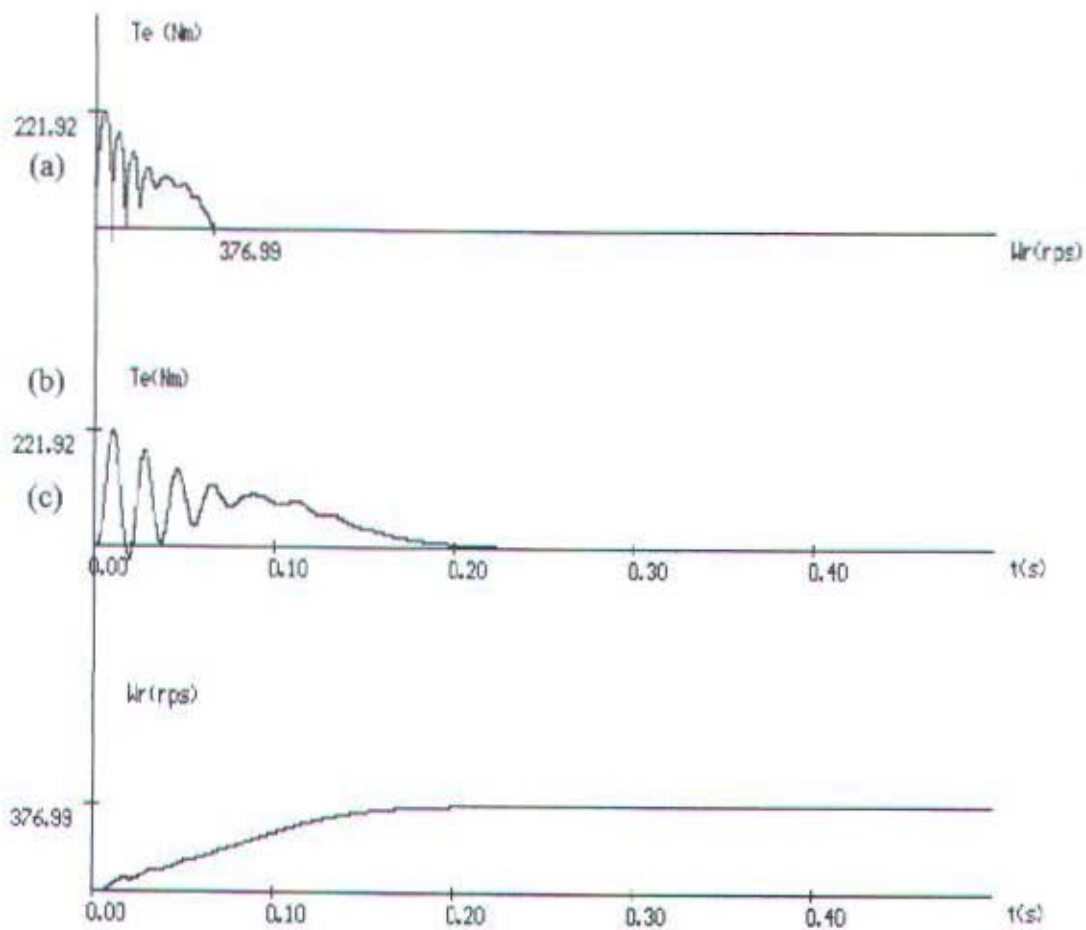
HP	Volt	Rs (Ω)	Rr(Ω)	Xm(Ω)	Xs(Ω)	Xr(Ω)	J(kg.m)
3	220	0.435	0.816	26.13	0.754	0.754	0.089

Tabel 1 Parameter Motor Induksi

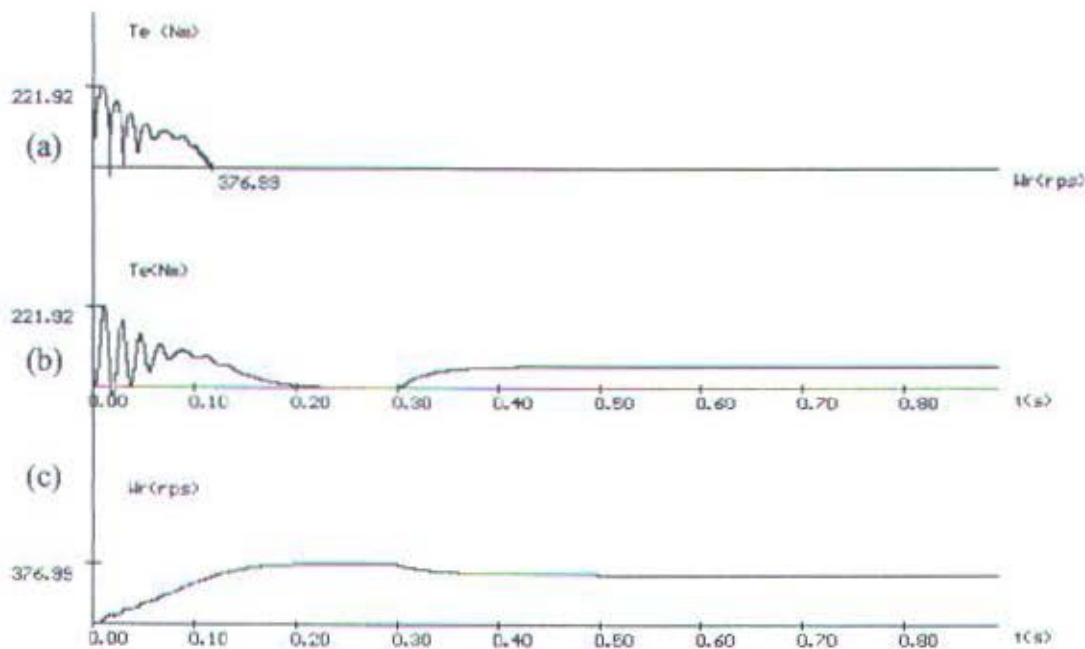


Gambar 2-6. Karakteristik Keluaran Motor Induksi
 (a) Karakteristik tegangan dan arus dalam koordinat $a-b-c$
 (b) Karakteristik tegangan dan arus dalam koordinat $q-d-n$

Dari gambar 2-6 terlihat bahwa tegangan dan arus pada sumbu- n atau sumbu- 0 tidak ada untuk sumber tegangan dan arus tiga fasa yang seimbang dan normal.



Gambar 2-7 Karakteristik keluaran motor induksi tanpa beban
 (a) Karakteristik torsi terhadap kecepatan
 (b) Karakteristik torsi terhadap waktu
 (c) Karakteristik kecepatan terhadap waktu



Gambar 2-8 Karakteristik keluaran motor induksi dalam keadaan berbeban:

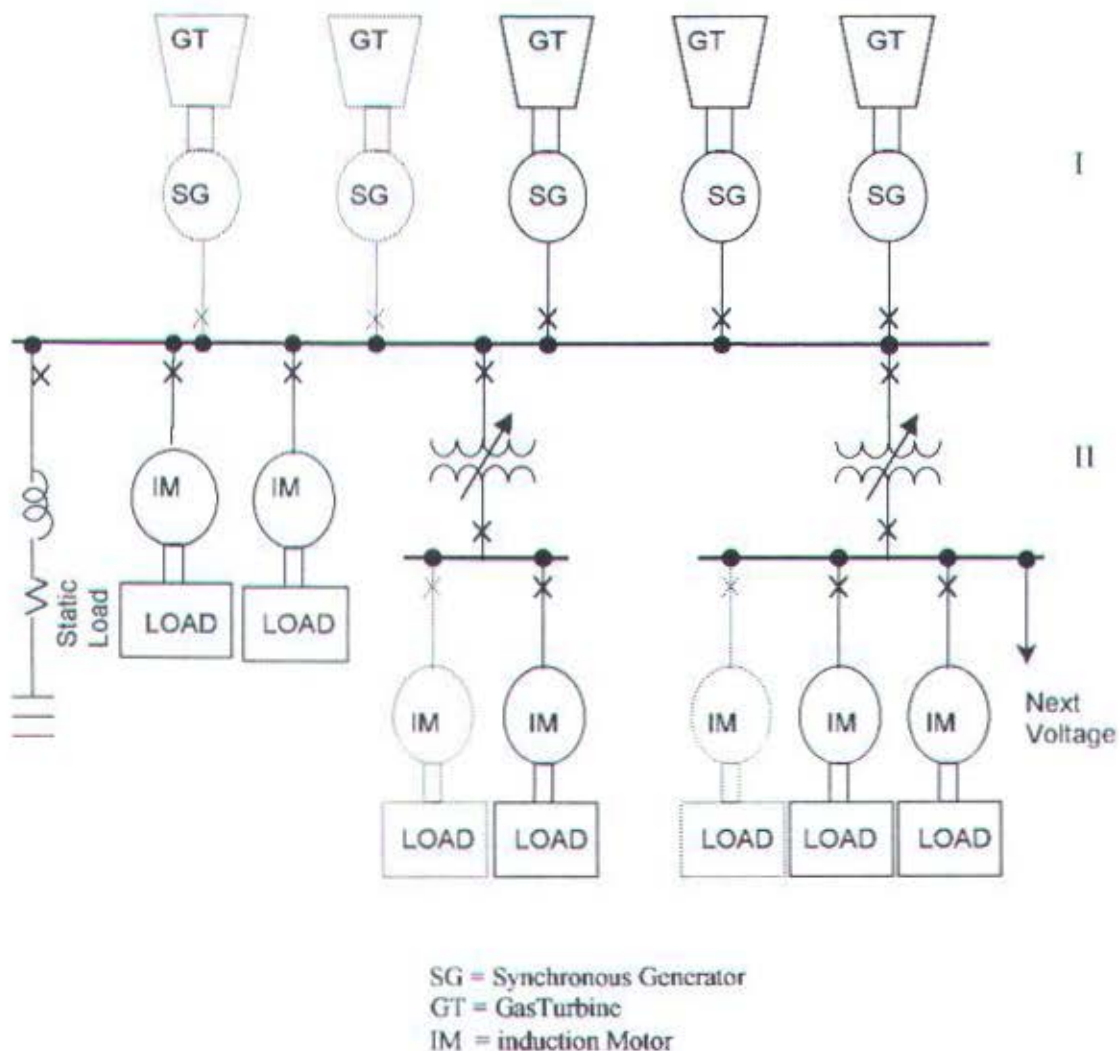
- (a) Karakteristik torsi terhadap kecepatan
- (b) Karakteristik torsi terhadap waktu
- (c) Karakteristik kecepatan terhadap waktu

Gambar 2-7 menunjukkan respon motor induksi dalam keadaan tanpa beban yang bermula dari keadaan diam hingga mencapai kecepatan nominal pada frekuensi 60 hz.

Didalam gambar 2-8 setelah motor induksi mencapai kecepatan nominal dalam 0,2 detik, pada saat detik ke-0,3 diberi beban mendadak sehingga beban berubah dari 0 Nm menjadi 60 Nm, akibatnya kecepatan motor induksi turun dan torsi elektromagnetik meningkat. Pada saat pembebanan terlihat bahwa motor induksi berusaha untuk mencapai titik operasi yang baru.

2.4 Presentasi dari Multimesin

Dalam konfigurasi sistem daya yang kecil, sistem multimesin yang lengkap dianggap terdiri dari dua bagian yang berbeda. Pertama dibatasi untuk pembangkitan dan kedua untuk beban yang terdiri dari berbagai beban baik statik maupun beban berputar seperti ditunjukkan pada gambar 2-9

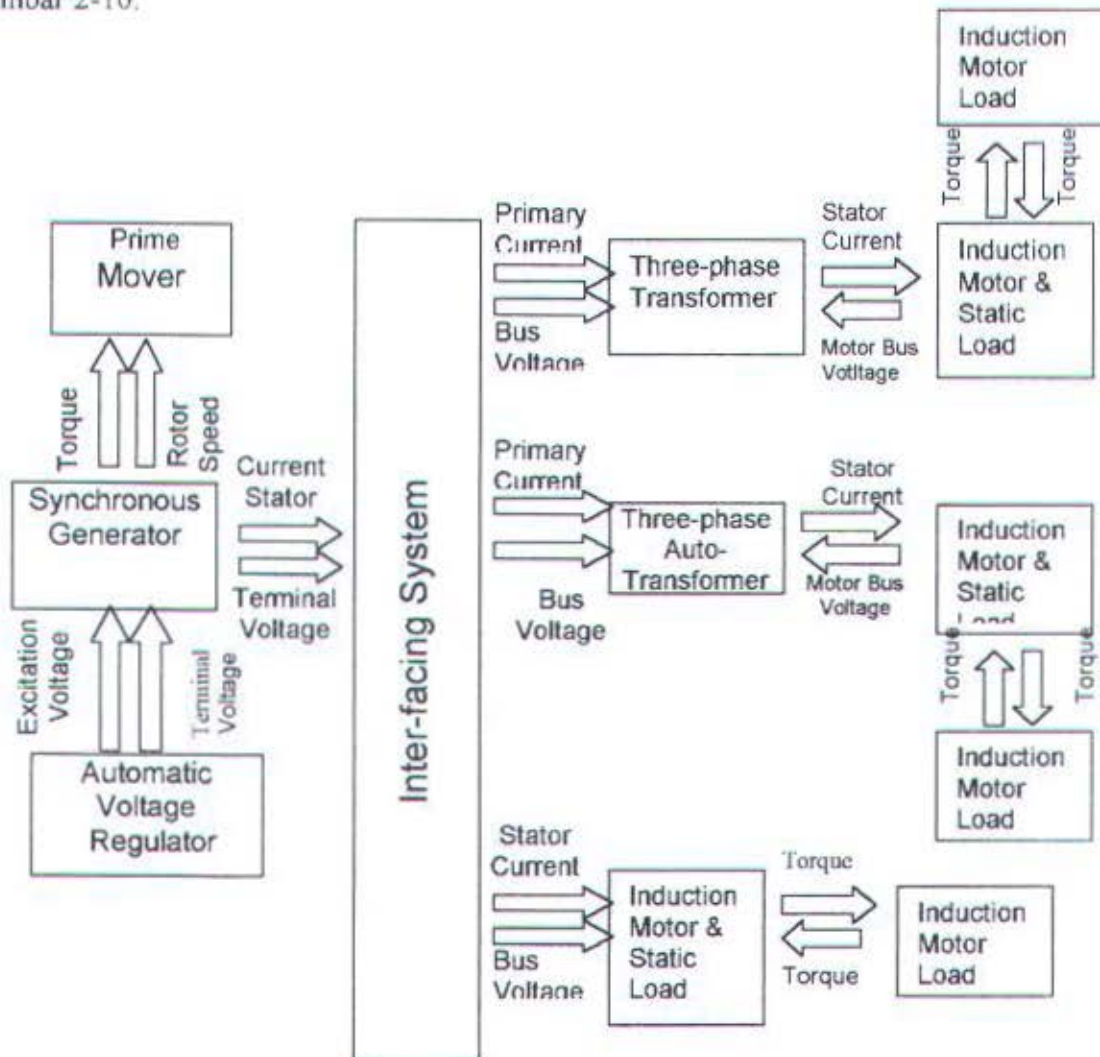


Gambar 2-9. Konfigurasi dari sistem daya yang kecil

Untuk beberapa motor yang terhubung ke bus yang sama, dihubungkan oleh sumber daya yang sama. Ketika sumber daya pada bus yang sama diputus, motor-

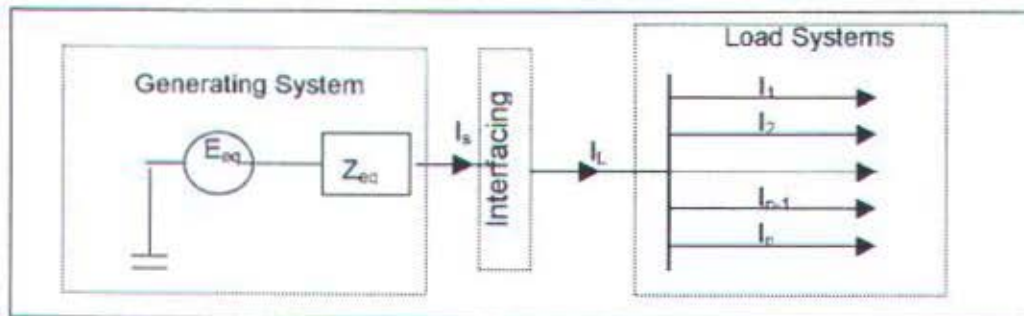
motornya tidak terpisah satu sama lain. Pada bus yang sama ini hanya mempunyai satu ; besaran tegangan, sudut phasa, dan frekwensi. Perubahan tegangan pada bus yang sama biasanya didekati dengan menggunakan ekivalen yang sederhana dari pengoperasian motor-motor pada bus yang sama.[10]

Gambaran dari tipe hubungan dari gambar 2-9 diatas untuk arus dan tegangan sebagai perbandingan sistem dari sistem pembangkit yang menyupply motor induksi baik yang terhubung langsung atau melalui unit transformator dapat dilihat pada gambar 2-10.



Gambar 2-10 . Gambaran Umum

Dari gambar 2-10 menurut hukum arus Kirchhoff, penjumlahan dari arus yang masuk dan yang keluar dari interface sistem adalah nol. Dan dapat digambarkan seperti pada gambar 2-11

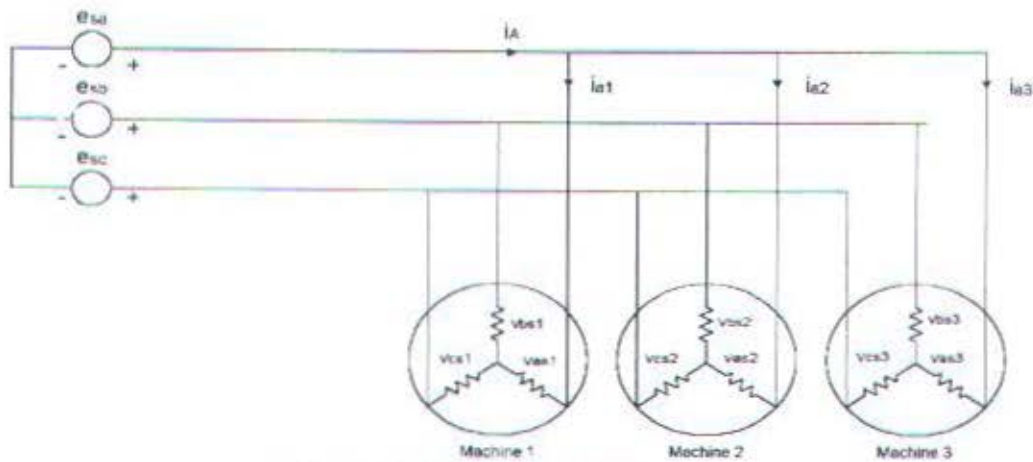


Gambar 2-11. Konfigurasi penjumlahan arus

Maka

$$I_s = I_L = \sum_{l=1}^n I_l \quad (2.105)$$

2.4.1 Model Matematika Multimesin



Gambar 2-12. Rangkaian Multimesin [21]

Gambar 2-12 memperlihatkan hubungan motor ke infinitive bus. Sumber daya ditunjukkan dengan ekivalen Thevenin. Dimana disini, hanya tiga mesin yang ditunjukkan.

Model dari sistem yang ringkas ditulis berikut ini

$$\begin{bmatrix} v_1 & v_2 & v_3 \end{bmatrix} = Z \begin{bmatrix} i_1 & i_2 & i_3 \end{bmatrix} \quad (2.106)$$

dimana

$$v_1 = \begin{bmatrix} v_{qs1} & v_{ds1} & v_{qr1} & v_{dr1} \end{bmatrix}^T \quad (2.107)$$

$$v_2 = \begin{bmatrix} v_{qs2} & v_{ds2} & v_{qr2} & v_{dr2} \end{bmatrix}^T \quad (2.108)$$

$$v_3 = \begin{bmatrix} v_{qs} & v_{ds} & v_{qr3} & v_{dr3} \end{bmatrix}^T \quad (2.109)$$

$$i_1 = \begin{bmatrix} i_{qs1} & i_{ds1} & i_{qr1} & i_{dr1} \end{bmatrix}^T \quad (2.110)$$

$$i_2 = \begin{bmatrix} i_{qs2} & i_{ds2} & i_{qr2} & i_{dr2} \end{bmatrix}^T \quad (2.111)$$

$$i_3 = \begin{bmatrix} i_{qs3} & i_{ds3} & i_{qr3} & i_{dr3} \end{bmatrix}^T \quad (2.112)$$

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{M1} & Z_L & Z_L \\ Z_L & Z_{M2} & Z_L \\ Z_L & Z_L & Z_{M3} \end{bmatrix} \quad (2.113)$$

dan

$$Z_M = \begin{bmatrix} r_s + L_s p & \omega L_s & L_m p & \omega L_m \\ -\omega L_s & r_s + L_s p & -\omega L_m & L_m p \\ L_m p & (\omega - \omega_r) L_m & r_r' + L_r' p & -(\omega - \omega_r) L_r' \\ -(\omega - \omega_r) L_m & L_m p & -(\omega - \omega_r) L_r' & r_r' + L_r' p \end{bmatrix} \quad (2.114)$$

dimana Z_{M1} , Z_{M2} dan Z_{M3} adalah matriks impedansi dari motor induksi dalam sistem

koordinat $d-q$, Z_L adalah matriks yang berisi parameter sumber.

$$Z_L = \begin{bmatrix} r_s + L_s p & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r_s + L_s p & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.115)$$

Jadi matrik $Z =$

$$\begin{bmatrix}
 r_{s1} + L_{s1}p & -\omega L_{m1} & L_{m1}p & -\omega L_{m1} & r_s + L_s p & 0 & 0 & 0 & r_s + L_s p & 0 & 0 & 0 \\
 -\omega L_{m1} & r_{s1} + L_{s1}p & -\omega L_{m1} & L_{m1}p & 0 & r_s + L_s p & 0 & 0 & 0 & r_s + L_s p & 0 & 0 \\
 L_{m1}p & -\omega L_{m1} & r_{r1} + L_{r1}p & -\omega L_{m1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -\omega L_{m1} & L_{m1}p & -\omega L_{m1} & r_{r1} + L_{r1}p & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 r_s + L_s p & 0 & 0 & 0 & r_{s2} + L_{s2}p & -\omega L_{m2} & L_{m2}p & -\omega L_{m2} & r_s + L_s p & 0 & 0 & 0 \\
 0 & r_s + L_s p & 0 & 0 & -\omega L_{m2} & r_{s2} + L_{s2}p & -\omega L_{m2} & L_{m2}p & 0 & r_s + L_s p & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & L_{m2}p & -\omega L_{m2} & r_{r2} + L_{r2}p & -\omega L_{m2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -\omega L_{m2} & L_{m2}p & -\omega L_{m2} & r_{r2} + L_{r2}p & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 r_s + L_s p & 0 & 0 & 0 & L_{m2}p & -\omega L_{m2} & r_{r2} + L_{r2}p & -\omega L_{m2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & r_s + L_s p & 0 & 0 & 0 & r_s + L_s p & 0 & 0 & -\omega L_{m3} & r_{s3} + L_{s3}p & -\omega L_{m3} & L_{m3}p \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & L_{m3}p & -\omega L_{m3} & r_{r3} + L_{r3}p & -\omega L_{m3} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\omega L_{m3} & L_{m3}p & -\omega L_{m3} & r_{r3} + L_{r3}p \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\omega L_{m3} & L_{m3}p & -\omega L_{m3} & r_{r3} + L_{r3}p
 \end{bmatrix}$$

(2.116)

dari bentuk diatas dapat diturunkan sebagai berikut:

$$v_{qs1} = r_{s1}i_{qs1} + L_{s1}p i_{qs1} \quad (2.117)$$

$$v_{ds1} = r_{s1}i_{ds1} + L_{s1}p i_{ds1} \quad (2.118)$$

$$v_{qr1} = r_{r1}i_{qr1} + L_{r1}p i_{qr1} \quad (2.119)$$

$$v_{dr1} = r_{r1}i_{dr1} + L_{r1}p i_{dr1} \quad (2.120)$$

$$v_{qs2} = r_{s2}i_{qs2} + L_{s2}p i_{qs2} \quad (2.121)$$

$$v_{ds2} = r_{s2}i_{ds2} + L_{s2}p i_{ds2} \quad (2.122)$$

$$v_{qr2} = r_{r2}i_{qr2} + L_{r2}p i_{qr2} \quad (2.123)$$

$$v_{dr2} = r_{r2}i_{dr2} + L_{r2}p i_{dr2} \quad (2.124)$$

$$v_{qs3} = r_{s3}i_{qs3} + L_{s3}p i_{qs3} \quad (2.125)$$

$$v_{ds3} = r_{s3}i_{ds3} + L_{s3}p i_{ds3} \quad (2.126)$$

$$v_{qr3} = r_{r3}i_{qr3} + L_{r3}p i_{qr3} \quad (2.127)$$

$$v_{dr3} = r_{r3}i_{dr3} + L_{r3}p i_{dr3} \quad (2.128)$$

Selanjutnya menjadi bentuk sebagai berikut:

$$v_{qsn} = r_{sn}i_{qsn} + L_{sn}\frac{di_{qsn}}{dt} \quad (2.129)$$

$$v_{dsn} = r_{sn}i_{dsn} + L_{sn}\frac{di_{dsn}}{dt} \quad (2.130)$$

$$v_{qrn} = r_{rn}i_{qrn} + L_{rn}\frac{di_{qrn}}{dt} \quad (2.131)$$

$$v_{drn} = r_{rn}i_{drn} + L_{rn}\frac{di_{drn}}{dt} \quad (2.132)$$

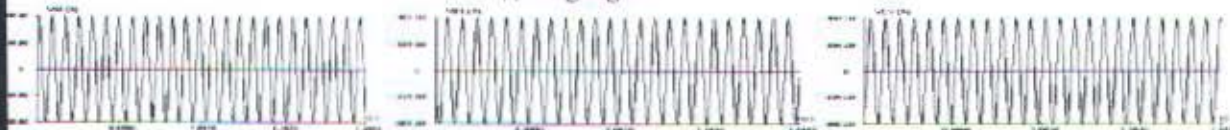
2.4.2 Unjuk Kerja Multimesin Dalam Kondisi Normal

Untuk melaksanakan simulasi motor induksi 3 fasa diperlukan parameter motor induksi sebagai berikut:

	Hz	Volt	HP	r_s	x_{ls}	x_m	x_{lr}	r_r	H
IM1	60	450	40	0.005	0.0587	2.952	0.0587	0.0165	1.054
IM2	60	450	150	0.0051	0.00553	2.678	0.0553	0.0165	1.524
IM3	60	450	200	0.01	0.0655	3.225	0.0655	0.0261	0.922

Tabel 2. Parmater Multimesin

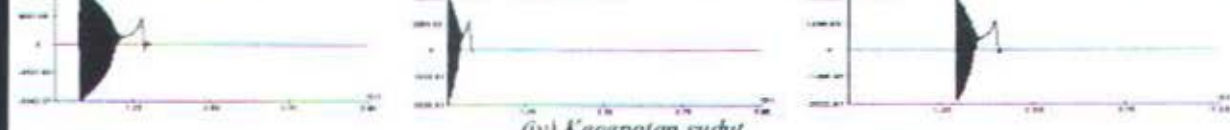
(i) Tegangan



(ii) Arus



(iii) Torsi



(iv) Kecepatan sudut



(a) Motor 40 Hp

(b) Motor 150 Hp

(c) Motor 200 Hp

Gambar 2-13. Unjuk Kerja Multimesin dalam keadaan normal

(a) Motor 40 Hp (b) Motor 150 Hp (c) Motor 200 Hp



BAB III

UNJUK KERJA MULTIMESIN SELAMA SUPLAI LISTRIK MENGALAMI GANGGUAN

BAB III

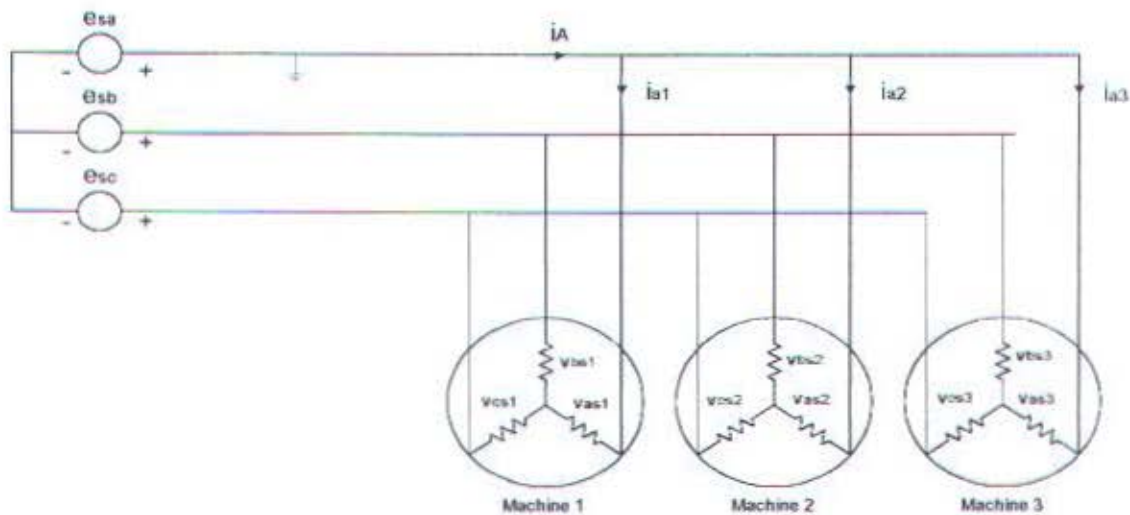
UNJUK KERJA MULTI MESIN

SELAMA SUPLAI LISTRIK MENGALAMI GANGGUAN

3.1 Jenis Gangguan Pada Suplai Listrik

Gangguan yang diamati dalam penelitian ini adalah gangguan yang disimulasikan terjadi pada sisi suplai listrik dari multimesin dalam beberapa cycles atau detik. Adapun gangguan tersebut berupa gangguan tiga fasa terbuka dan gangguan satu fasa ke tanah.

3.1.1 Gangguan Satu Fasa Ke Tanah



Gambar 3-1 Rangkaian stator ketika terjadi gangguan satu fasa ke tanah

Ketika gangguan satu fasa ke tanah terjadi pada bus, sebagai contoh pada fasa "a", terjadi pengaruh tahanan ke tanah yang sangat kecil akibat terhubung

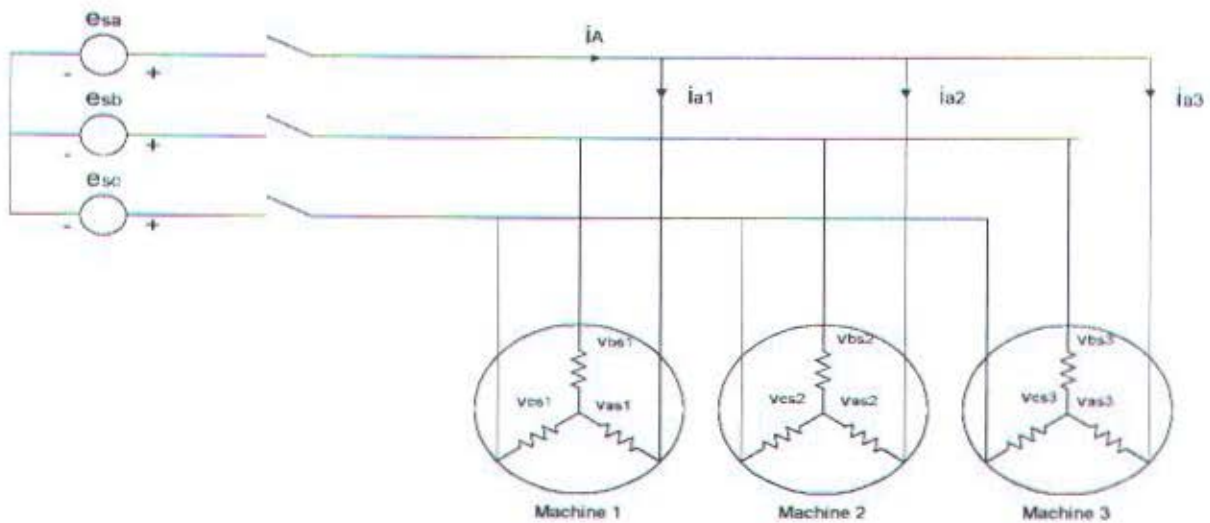
paralel dengan fasa "a" dengan belitan stator mesin. Selanjutnya kombinasi harga paralel adalah sangat dekat ke tahanan gangguan. Maka, simulasi dapat diselesaikan dengan mengganti tahanan belitan stator pada fasa "a" dengan tahanan gangguan.

Yaitu: [17]

$$R_{lt} = R_f \quad (3.1)$$

$$L_{ls} = L_f \quad (3.2)$$

3.1.2 Gangguan Tiga Fasa Terbuka



Gambar 3-2. Rangkaian stator ketika terjadi gangguan tiga fasa terbuka

Dalam simulasi dari gangguan tiga fasa terbuka, untuk tegangan sumbernya adalah nol. Yaitu : [18]

$$V_{as123} = V_{bs123} = V_{cs123} = 0 \quad (3.3)$$

3.2 Simulasi

3.2.1 Perhitungan Transient

Persamaan diferensial yang menjelaskan perilaku dinamik dari mesin listrik adalah non linier sehingga agak sukar untuk menyelesaikan persamaan ini. Sekarang, penyelesaian ini dapat dilakukan dengan menggunakan komputer digital atau komputer analog. Disini kita gunakan komputer untuk menggambarkan penampilan dari mesin-mesin induksi selama berapa mode pengoperasian. Metode simulasi disini adalah mode pengoperasian dari mesin-mesin induksi.

Untuk persoalan transient, dipilih keadaan transient, yang timbul sewaktu motor-motor induksi mengalami akselerasi secara bebas dari keadaan diam sampai diperoleh perputaran sinkron. Untuk maksud ini, persamaan-persamaan differensial non linier yang menjelaskan keadaan dari mesin induksi dipecahkan dengan menggunakan metode analisa numerik.

Dari metode numerik yang ada tersebut, pada simulasi multimesin disini digunakan metode analisa numerik Runge-Kutta Fehlberg. Yangmana dari hasil-hasil integrasi secara numerik akan diperoleh gambaran keadaan dinamik dari mesin-mesin induksi dalam keadaan akselerasi.

3.2.2 Data Mesin

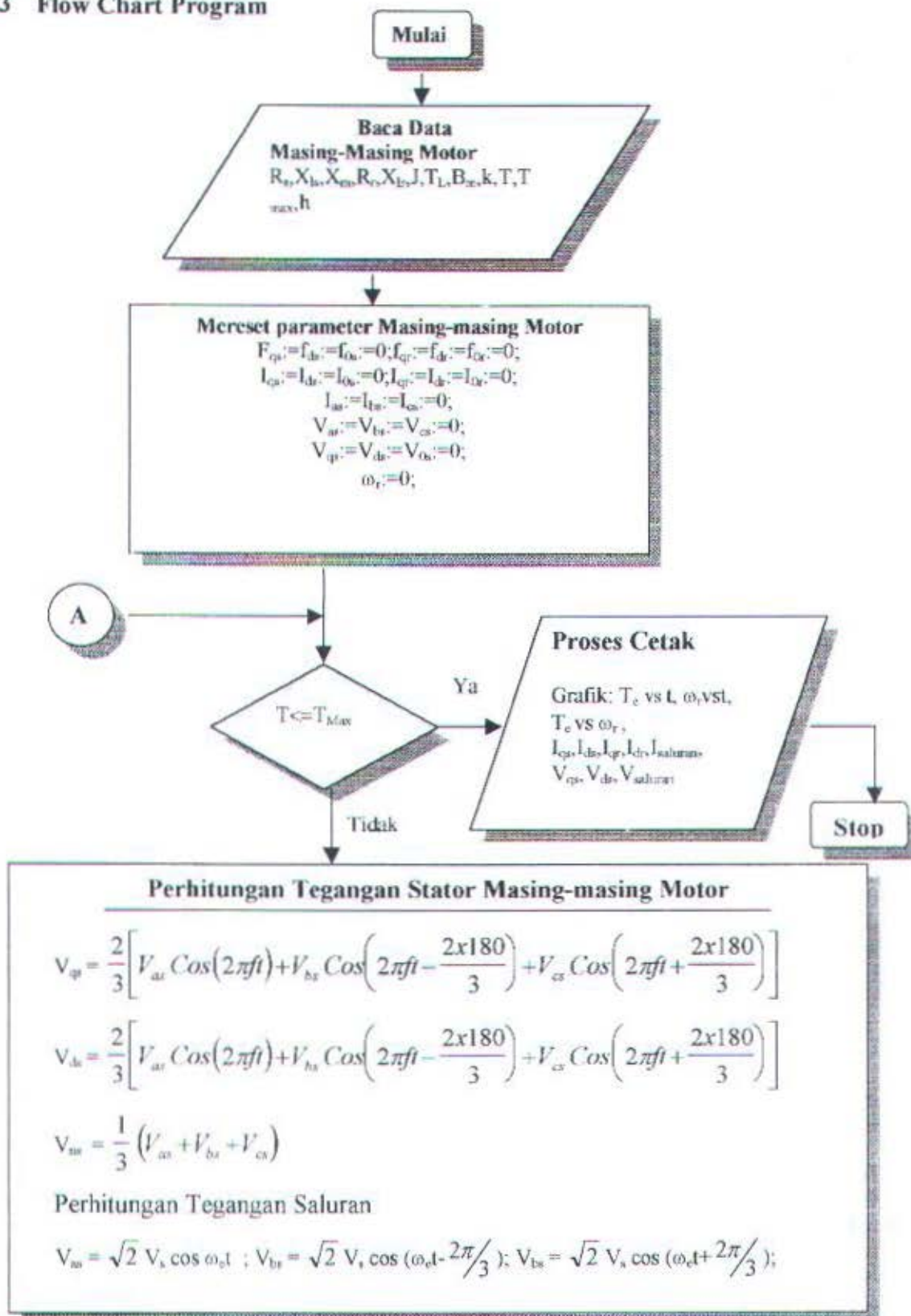
Untuk melaksanakan simulasi perilaku dinamik motor induksi, perlu diketahui parameter-parameternya, sesuai dengan yang ditentukan dalam persamaan. Parameter-parameter ini dapat diketahui dari data-data yang dikeluarkan oleh pabrik pembuat motor tersebut ataupun ditentukan secara eksperimental dengan percobaan

laboratorium. Adapun data dari multimesin yang terdiri dari tiga mesin induksi adalah:

	Volt	HP	r_s	x_{ls}	x_{lm}	x'_{lr}	r'_r	H
IM1	450	40	0.005	0.0587	2.952	0.0587	0.0165	1.054
IM2	450	150	0.0051	0.00553	2.678	0.0553	0.0165	1.524
IM3	450	200	0.01	0.0655	3.225	0.0655	0.0261	0.922

Tabel 3. Parameter Mesin Induksi [15]

3.2.3 Flow Chart Program





Menghitung Kumparan Fluks/detik Masing-masing Motor

Untuk $P=d/dt$, pada stator

$$P\psi_{qs} = \omega_b \left\{ V_{qs} - \frac{\omega_r}{\omega_b} \psi_{ds} + \frac{R_s}{X_{ls}} (\psi_{mq} - \psi_{qs}) \right\} \quad P\psi_{ds} = \omega_b \left\{ V_{ds} - \frac{\omega_r}{\omega_b} \psi_{qs} + \frac{R_s}{X_{ls}} (\psi_{md} - \psi_{ds}) \right\}$$

$$P\psi_{ns} = \omega_b \left\{ V_{ns} - \frac{R_s}{X_{ls}} (\psi_{ns}) \right\}$$

pada rotor

$$P\psi_{qr} = \omega_b \left\{ V_{qr} - \frac{\omega - \omega_r}{\omega_b} \psi_{dr} + \frac{R_r}{X_{lr}} (\psi_{mq} - \psi_{qr}) \right\} \quad P\psi_{dr} = \omega_b \left\{ V_{dr} - \frac{\omega - \omega_r}{\omega_b} \psi_{qr} + \frac{R_r}{X_{lr}} (\psi_{md} - \psi_{dr}) \right\}$$

$$P\psi_{nr} = \omega_b \left\{ V_{nr} - \frac{R_r}{X_{lr}} (\psi_{nr}) \right\}$$

$$\text{Dimana } \psi_{ms} = X_{sq} \left[\frac{\psi_{qs}}{X_{ls}} + \frac{\psi_{qr}}{X_{lr}} \right] \quad \psi_{md} = X_{sd} \left[\frac{\psi_{ds}}{X_{ls}} + \frac{\psi_{dr}}{X_{lr}} \right]$$

$$\text{dan } X_{sq} = X_{sd} = \left[\frac{1}{X_M} + \frac{1}{X_{ls}} + \frac{1}{X_{lr}} \right]^{-1}$$





**Prosedur menghitung dengan menggunakan Metode
Runge-Kutta Fehlberg**
Bentuk persamaan Runge Kutta Fehlberg

$$y_{i+1} = y_i + \left[\frac{16}{135} k_1 + \frac{6656}{12825} k_3 + \frac{28561}{56430} k_4 - \frac{9}{50} k_5 + \frac{2}{55} k_6 \right] h$$

dimana

$$k_1 = 2f(x_i, y_i)$$

$$k_2 = f\left(x_i + \frac{1}{4}h, y_i + \frac{1}{4}hk_1\right)$$

$$k_3 = f\left(x_i + \frac{1}{8}h, y_i + \frac{3}{32}hk_1 + \frac{9}{32}hk_2\right)$$

$$k_4 = f\left(x_i + \frac{12}{13}h, y_i + \frac{1932}{2197}hk_1 - \frac{7200}{2197}hk_2 + \frac{7296}{2197}hk_3\right)$$

$$k_5 = f\left(x_i + h, y_i + \frac{439}{216}hk_1 - 8hk_2 + \frac{3680}{513}hk_3 - \frac{845}{4140}hk_4\right)$$

$$k_6 = f\left(x_i + \frac{1}{2}h, y_i - \frac{8}{27}hk_1 + 2hk_2 - \frac{3544}{2565}hk_3 + \frac{1859}{4140}hk_4 - \frac{11}{40}hk_5\right)$$

perkiraan kesalahan/galat (error estimation)

$$E_a = \left[\frac{1}{1360} k_1 - \frac{128}{4275} k_3 - \frac{2197}{75240} k_4 + \frac{1}{50} k_5 + \frac{2}{55} k_6 \right] h$$





Perhitungan Arus Masing-masing Motor

$$I_{qs} = \frac{1}{X_{ls}} (\psi_{qs} - \psi_{mq})$$

$$I_{ds} = \frac{1}{X_{ls}} (\psi_{ds} - \psi_{mq})$$

$$I_{rs} = \frac{1}{X_{ls}} (\psi_{rs})$$

$$I_{qr} = \frac{1}{X_{lr}} (\psi_{qr} - \psi_{mq})$$

$$I_{dr} = \frac{1}{X_{lr}} (\psi_{dr} - \psi_{mq})$$

$$I_{nr} = \frac{1}{X_{lr}} (\psi_{nr})$$

kemudian untuk arus saluran

$$I_{as} = I_{qs} \cos(2\pi f t) + I_{ds} \sin(2\pi f t) + I_{rs}$$

$$I_{bs} = I_{qs} \cos\left(2\pi f t - \frac{2\pi 180}{3}\right) + I_{ds} \sin\left(2\pi f t - \frac{2\pi 180}{3}\right) + I_{rs}$$

$$I_{cs} = I_{qs} \cos\left(2\pi f t + \frac{2\pi 180}{3}\right) + I_{ds} \sin\left(2\pi f t + \frac{2\pi 180}{3}\right) + I_{rs}$$



Perhitungan Torsi Masing-masing Motor

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{k}{\omega_b} (\psi_{qr} I_{dr} - \psi_{dr} I_{qr})$$





Perhitungan Kecepatan sudut Masing-masing Motor

$$P\omega_r = \frac{k}{2J} (T_e - T_L) - \frac{B_m}{J\omega_r}$$

Persamaan ini diselesaikan juga dengan metode
runge kutta feliherg

$$\omega_{n(i+1)} = \omega_{n(i)} + \left[\frac{16}{135} k_1 + \frac{6656}{12825} k_2 + \frac{28561}{56430} k_3 - \frac{9}{50} k_4 + \frac{2}{55} k_5 \right] h$$

dimana

$$k_1 = 2f(x_i, y_i)$$

$$k_2 = f\left(x_i + \frac{1}{4}h, y_i + \frac{1}{4}hk_1\right)$$

$$k_3 = f\left(x_i + \frac{1}{8}h, y_i + \frac{3}{32}hk_1 + \frac{9}{32}hk_2\right)$$

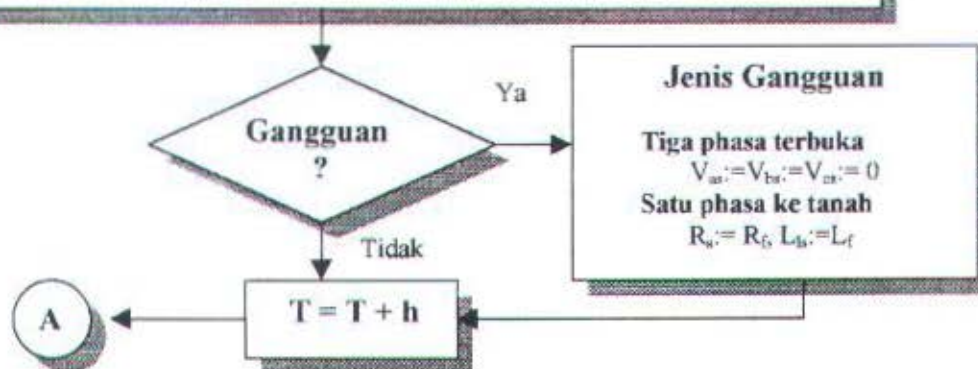
$$k_4 = f\left(x_i + \frac{12}{13}h, y_i + \frac{1932}{2197}hk_1 - \frac{7200}{2197}hk_2 + \frac{7296}{2197}hk_3\right)$$

$$k_5 = f\left(x_i + h, y_i + \frac{439}{216}hk_1 - 8hk_2 + \frac{3680}{513}hk_3 - \frac{845}{4140}hk_4\right)$$

$$k_6 = f\left(x_i + \frac{1}{2}h, y_i - \frac{8}{27}hk_1 + 2hk_2 - \frac{3544}{2565}hk_3 + \frac{1859}{4140}hk_4 - \frac{11}{40}hk_5\right)$$

perkiraan kesalahan/galat (error estimation)

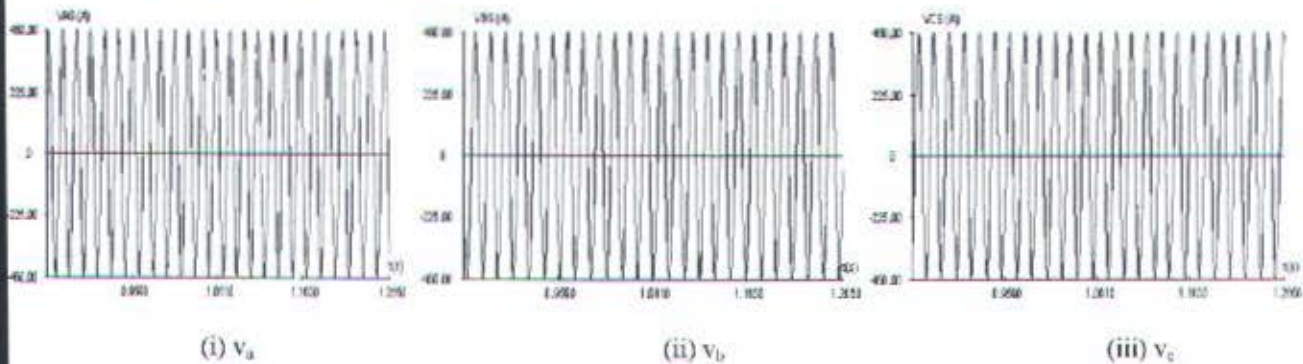
$$E_s = \left[\frac{1}{1360} k_1 - \frac{128}{4275} k_2 - \frac{2197}{75240} k_3 + \frac{1}{50} k_4 + \frac{2}{55} k_5 \right] h$$



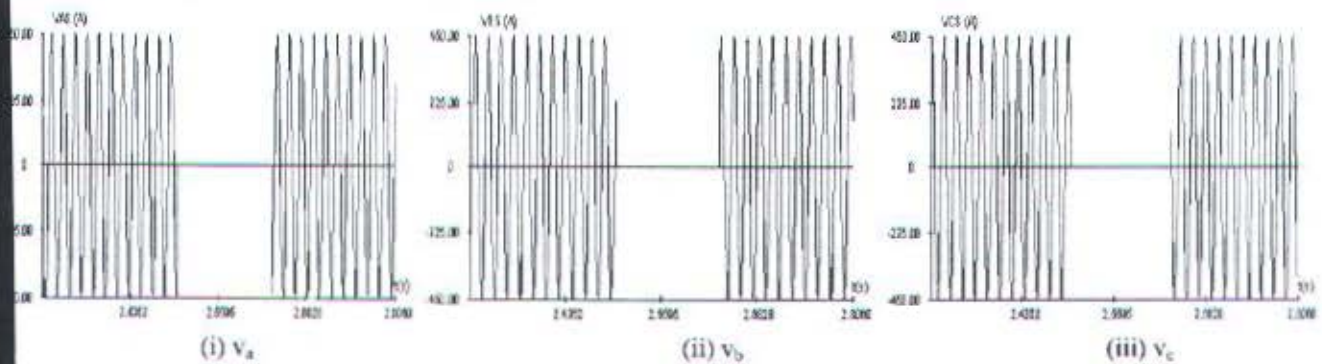
3.3 Hasil Simulasi

3.3.1 Karakteristik Tegangan Saluran

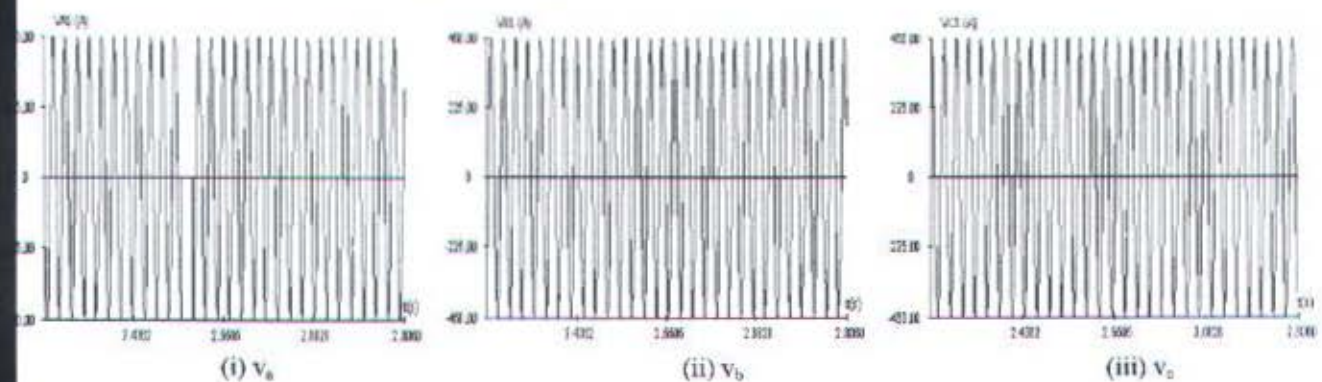
a. Dalam kondisi normal



b. Dalam kondisi gangguan tiga fasa terbuka pada $t = 2.5$ detik selama 134 ms



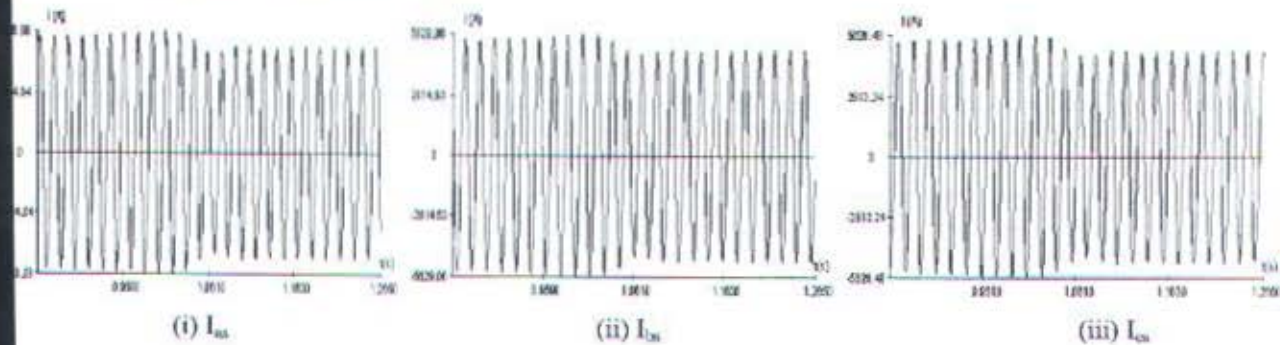
c. Dalam kondisi gangguan satu fasa ke tanah $t = 2.5$ detik selama 16 ms



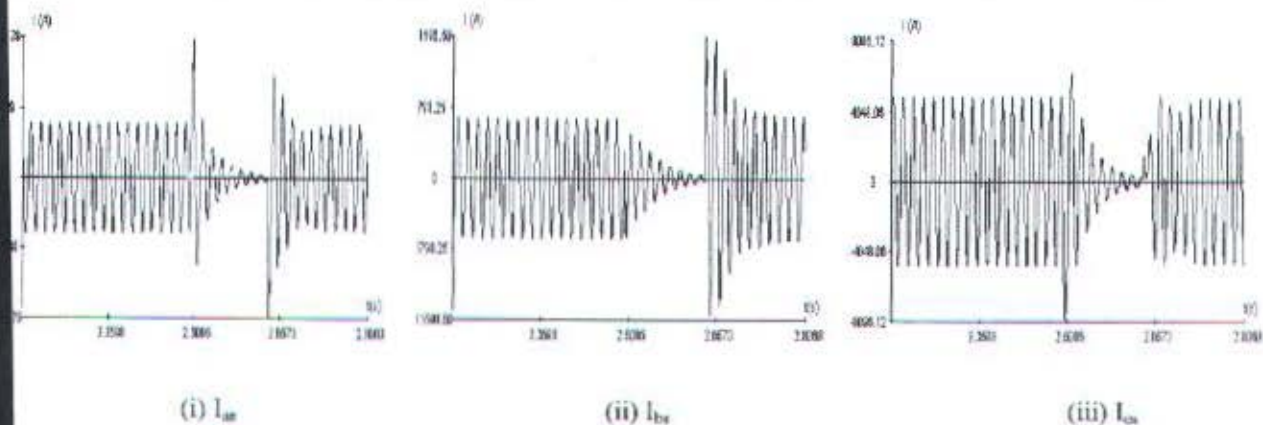
Gambar 3-3. Karakteristik Tegangan Saluran v_{abc} vs waktu
(i) V_a (ii) V_b (iii) V_c

3.3.2 Karakteristik Arus Saluran

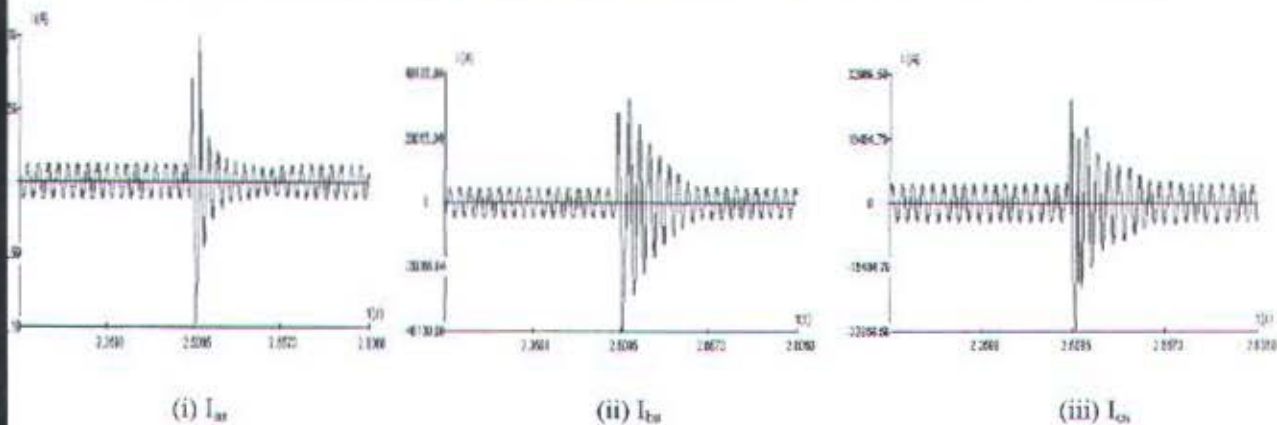
a. Dalam kondisi normal



b. Dalam kondisi gangguan tiga phasa terbuka pada $t = 2.5$ detik selama 134 ms



c. Dalam kondisi gangguan satu phasa ke tanah pada $t = 2.5$ detik selama 16 ms

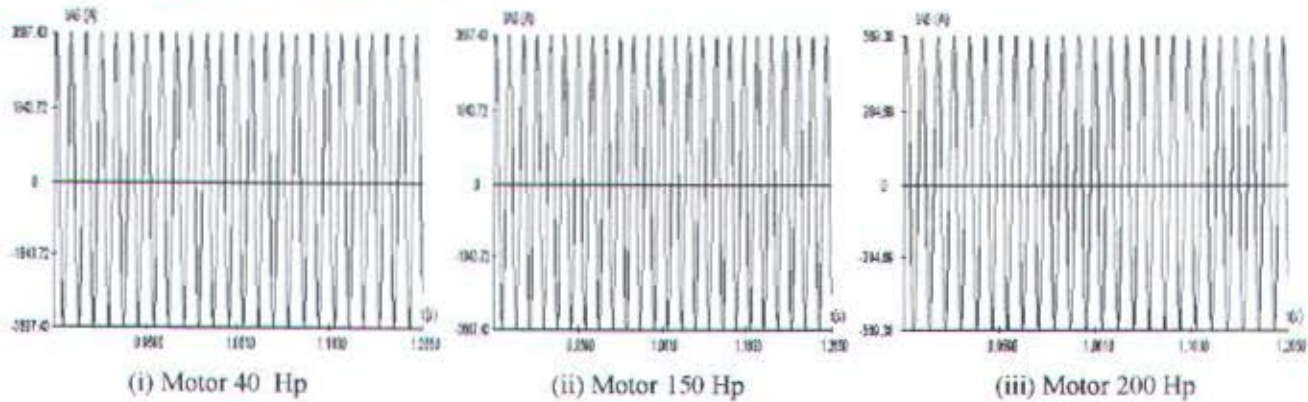


Gambar 3-4. Karakteristik Arus Saluran I_{sa} vs waktu
(i) I_{ra} (ii) I_{lb} (iii) I_{cs}

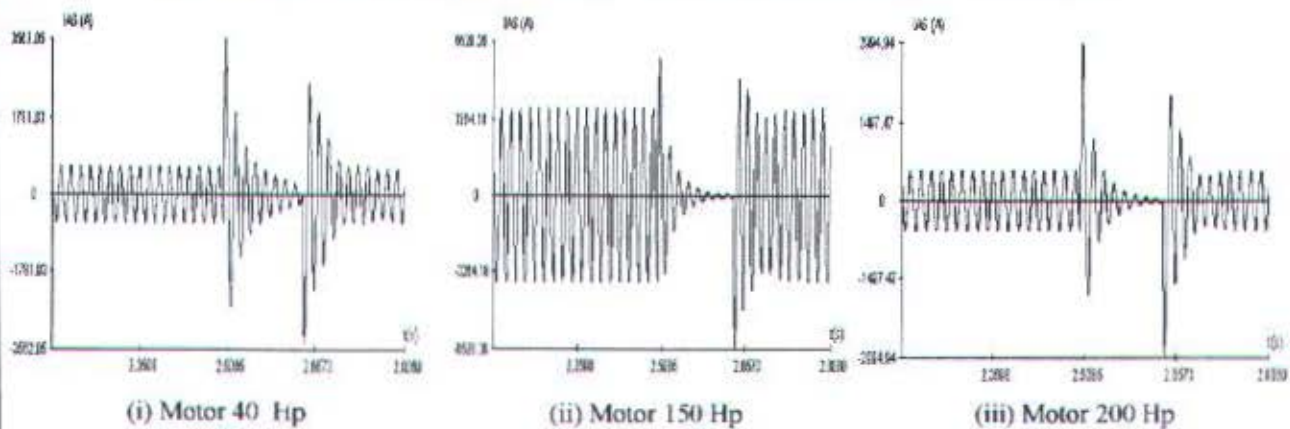
3.3.3 Karakteristik Arus Stator

3.3.3.1 Karakteristik Arus Stator I_{as}

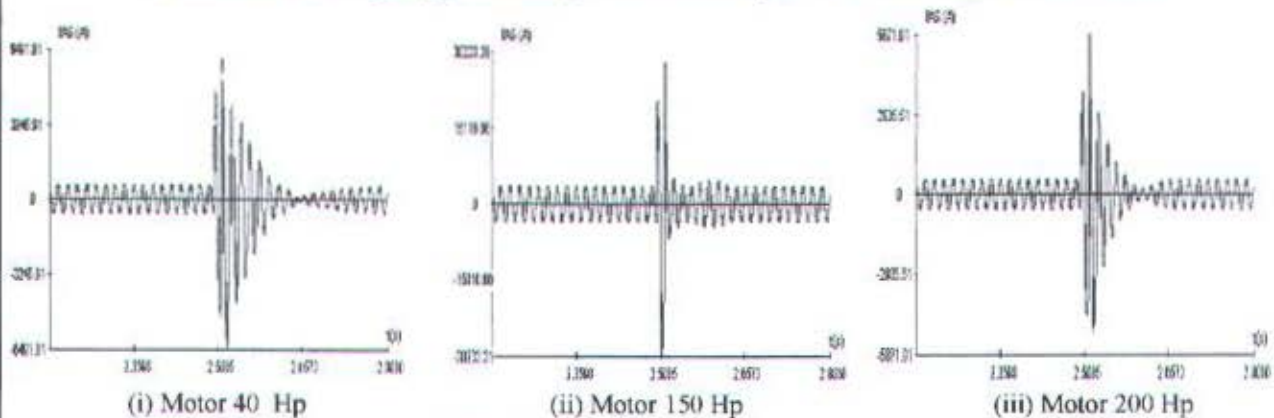
a. Dalam kondisi normal



b. Dalam kondisi gangguan tiga fasa terbuka pada $t = 2.5$ detik selama 134 ms



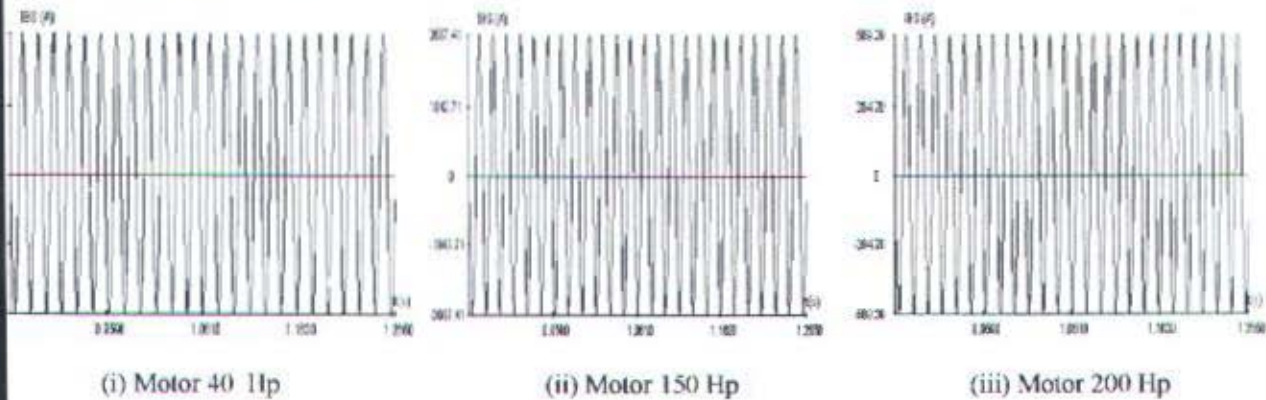
c. Dalam kondisi gangguan satu fasa ke tanah pada $t = 2.5$ detik selama 16 ms



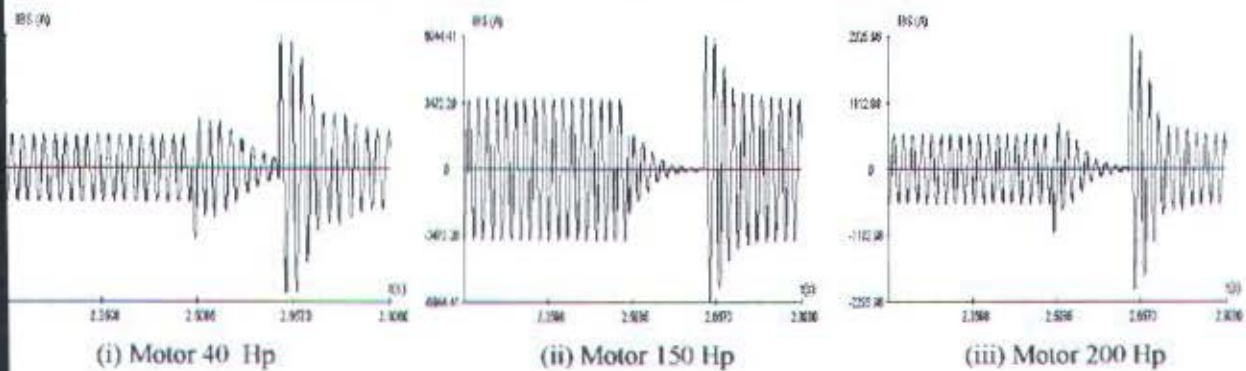
Gambar 3-5. Karakteristik Arus stator I_{as} vs waktu
(i) Motor 40 Hp (ii) Motor 150 Hp (iii) Motor 200 Hp

3.3.3.2 Karakteristik Arus Stator I_{bs}

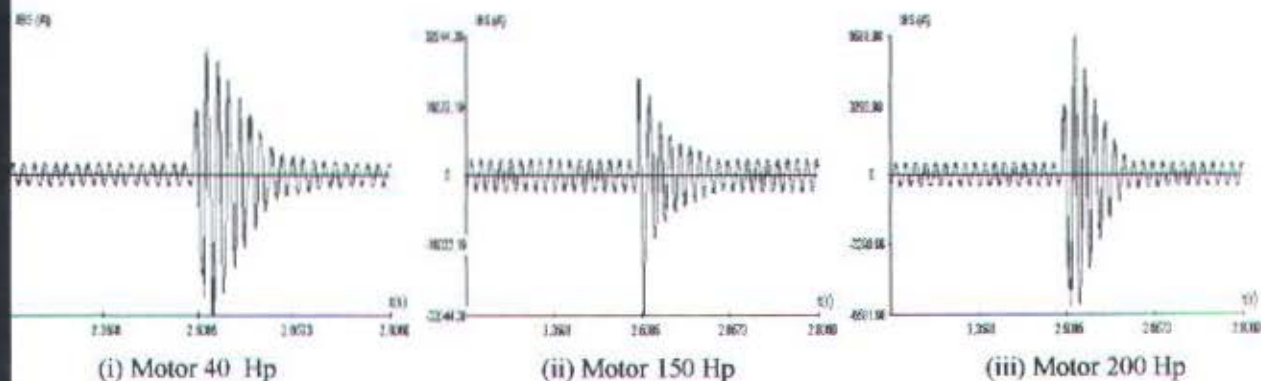
a. Dalam kondisi normal



b. Dalam kondisi tiga fasa terbuka pada $t = 2.5$ detik selama 134 ms



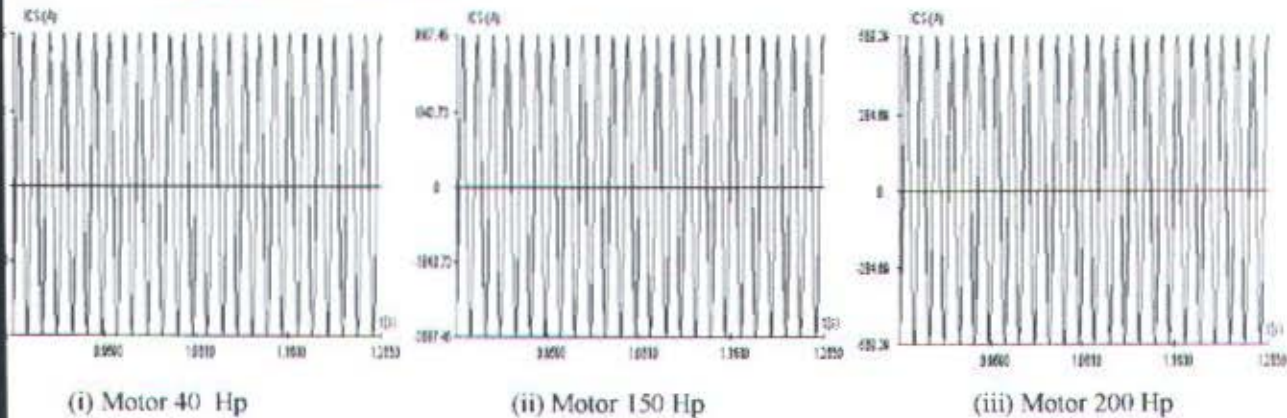
c. Dalam kondisi gangguan satu fasa ke tanah pada $t = 2.5$ detik selama 16 ms



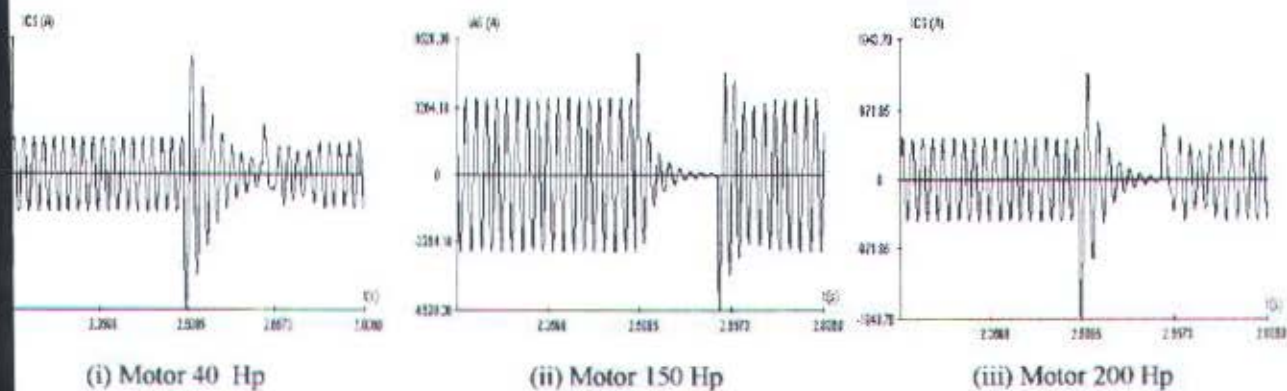
Gambar 3-6. Karakteristik Arus stator I_{bs} vs waktu
(i) Motor 40 Hp (ii) Motor 150 Hp (iii) Motor 200 Hp

3.3.3.3 Karakteristik Arus Stator I_{cs}

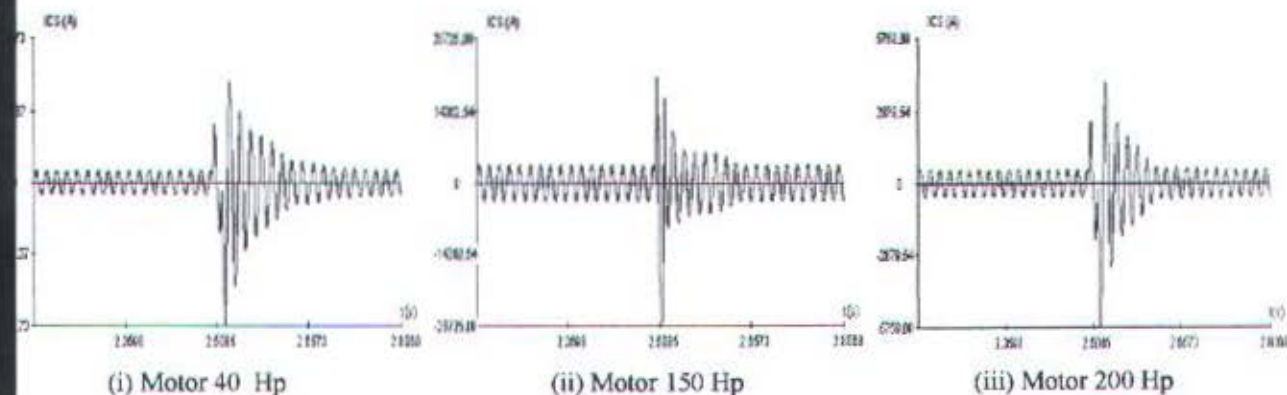
a. Dalam kondisi normal



b. Dalam kondisi gangguan tiga fasa terbuka pada $t = 2.5$ detik selama 134 ms



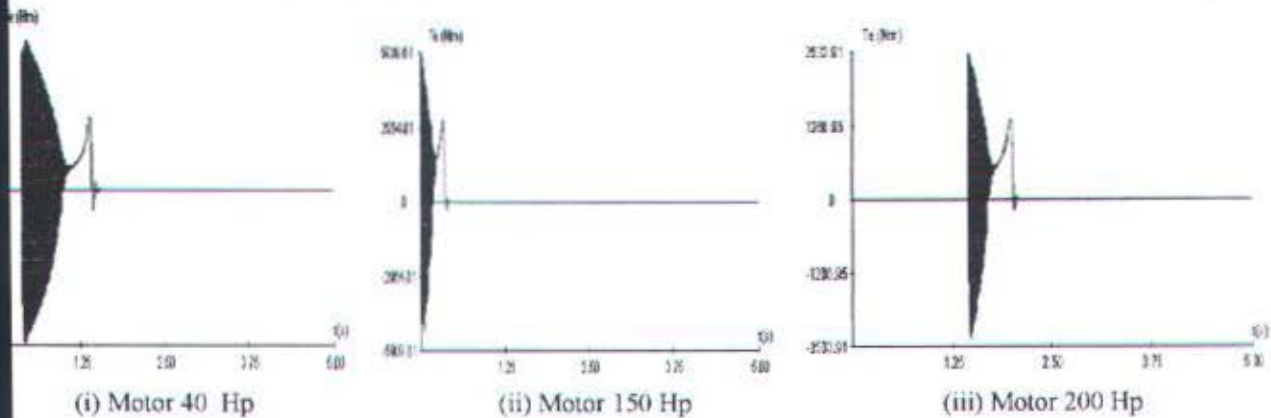
c. Dalam kondisi gangguan satu fasa ke tanah pada $t = 2.5$ detik selama 16 ms



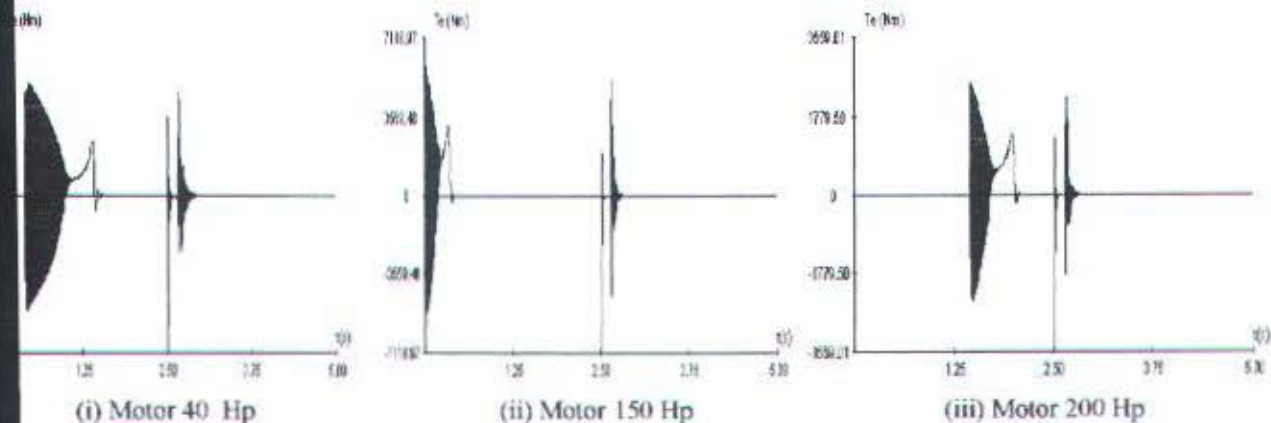
Gambar 3-7. Karakteristik Arus stator I_{cs} vs waktu
(i) Motor 40 Hp (ii) Motor 150 Hp (iii) Motor 200 Hp

3.3.4 Karakteristik Torsi Terhadap Waktu

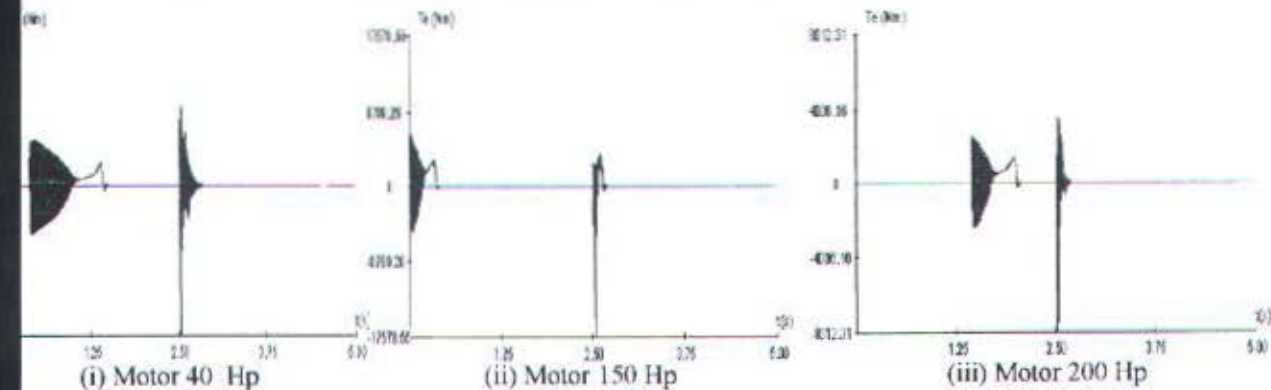
a. Dalam kondisi normal



b. Dalam kondisi gangguan tiga phasa terbuka pada $t = 2.5$ detik selama 134 ms



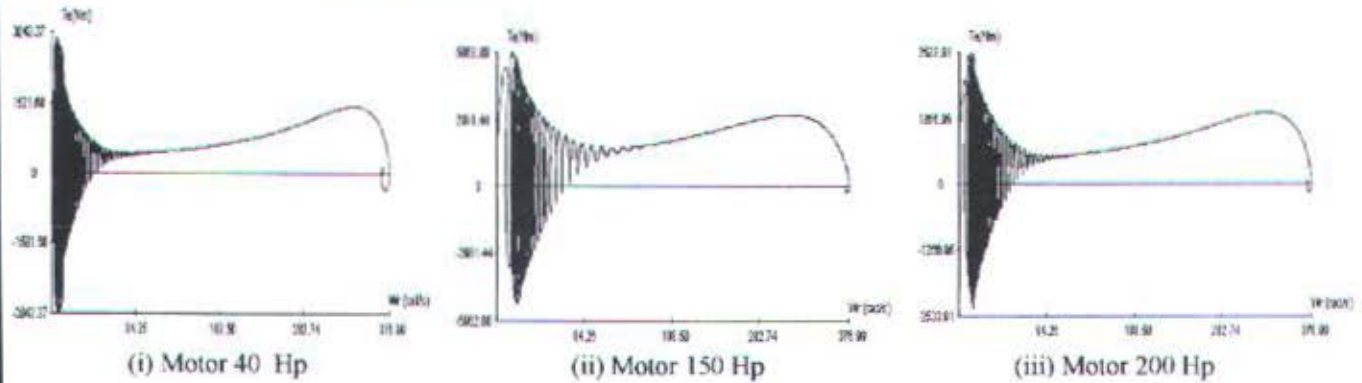
c. Dalam kondisi gangguan satu phasa ke tanah pada $t = 2.5$ detik selama 16 ms



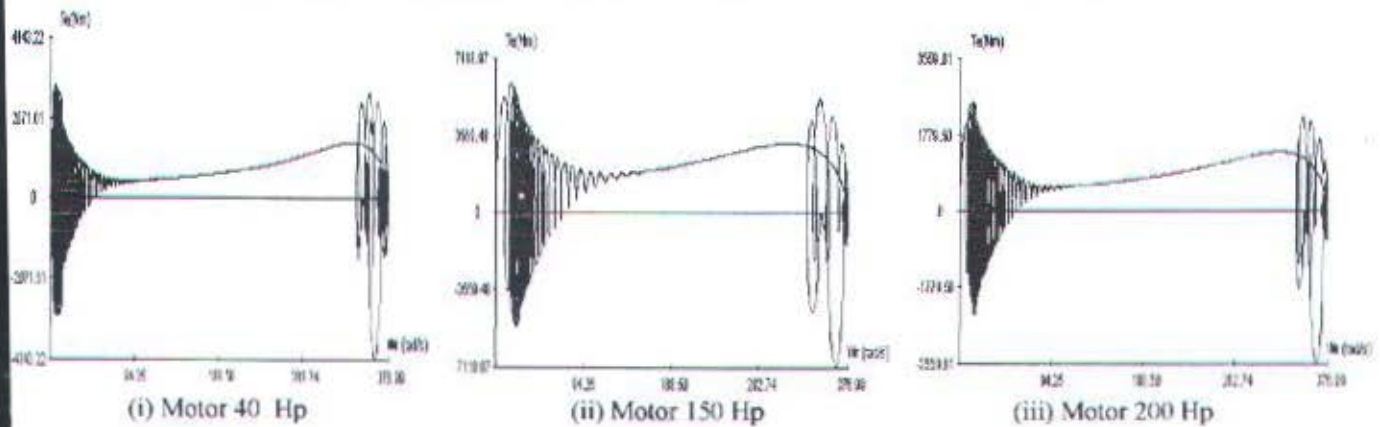
Gambar 3-8. Karakteristik Torsi vs waktu
(i) Motor 40 Hp (ii) Motor 150 Hp (iii) Motor 200 Hp

3.3.5 Karakteristik Torsi vs Kecepatan Sudut

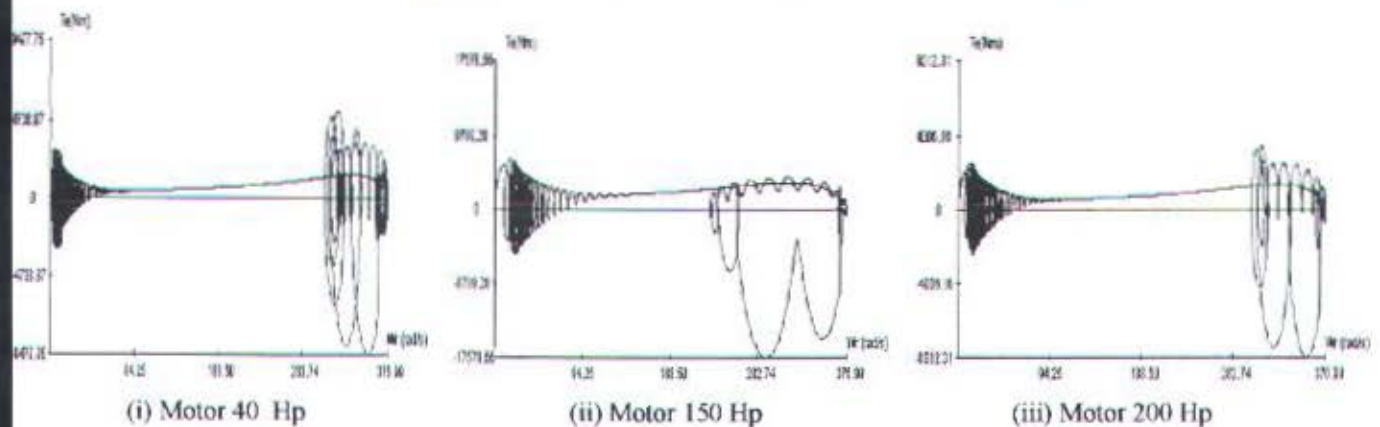
a. Dalam kondisi normal



b. Dalam kondisi gangguan tiga phasa terbuka pada $t = 2.5$ detik selama 134 ms



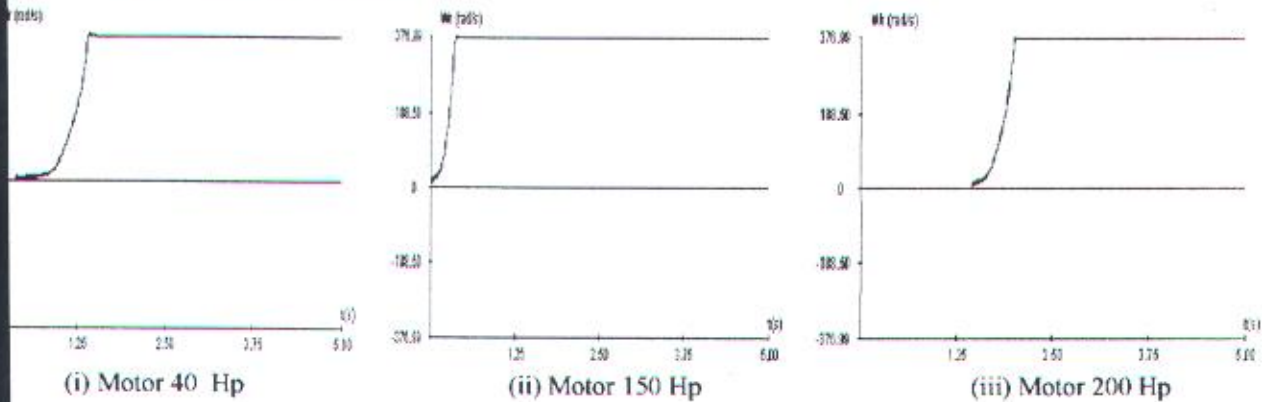
c. Dalam kondisi gangguan satu phasa ke tanah pada $t = 2.5$ detik selama 16 ms



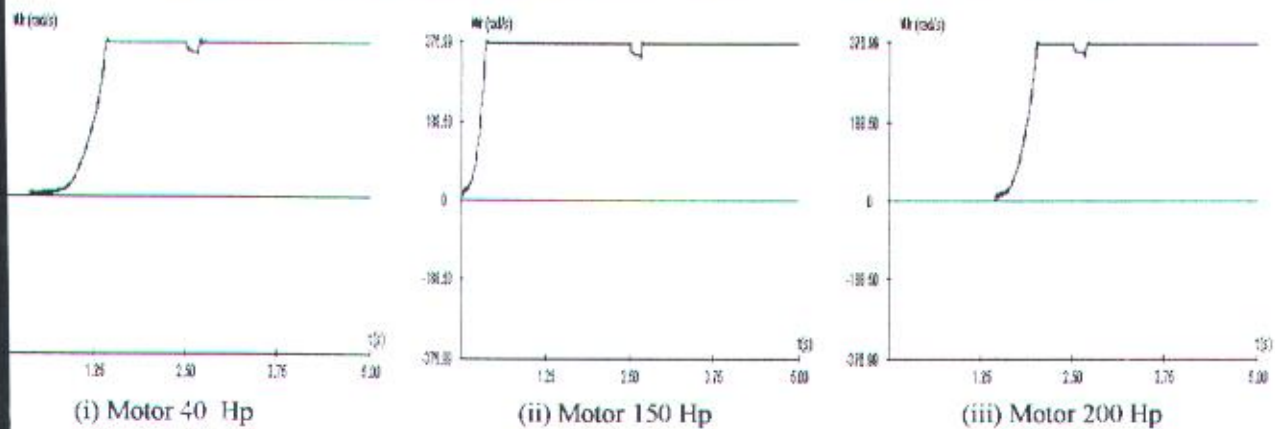
Gambar 3-9. Karakteristik Torsi vs kecepatan sudut
(i) Motor 40 Hp (ii) Motor 150 Hp (iii) Motor 200 Hp

3.3.6 Karakteristik Kecepatan Sudut Terhadap Waktu

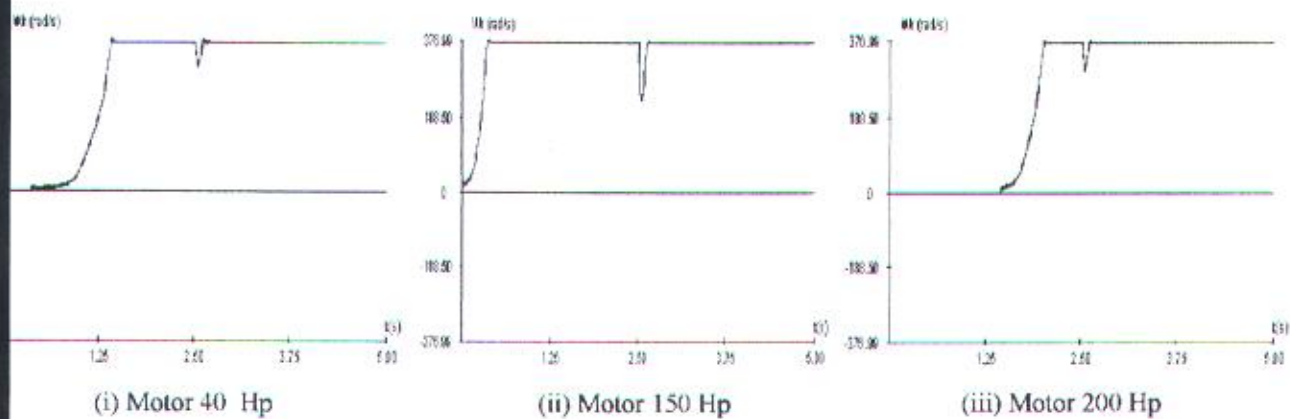
a. Dalam kondisi normal



b. Dalam kondisi gangguan tiga fasa terbuka pada $t = 2.5$ detik selama 134 ms



c. Dalam kondisi gangguan satu fasa ke tanah pada $t = 2.5$ detik selama 16 ms



Gambar 3-10. Karakteristik kecepatan sudut vs waktu
(i) Motor 40 Hp (ii) Motor 150 Hp (iii) Motor 200 Hp

3.4 Analisa

Gambar 3-4 b menunjukkan arus saluran pada saat gangguan tiga phasa terbuka selama 134 ms serta gambar 3-4 c menunjukkan arus saluran pada saat gangguan satu phasa ke tanah selama 16 ms. Ketika sumber diputus, arus rotor pun tidak nol sehingga masih ada diantara motor dan pada saat ditutup arus meningkat kembali.

Gambar 3-5, 3-6, dan 3-7 menunjukkan arus stator pada saat gangguan tiga phasa terbuka selama 134 ms dan pada saat gangguan satu phasa ke tanah selama 16 ms. Ketika sumber diputus, tampak arus stator tidak langsung nol, sehingga masih mengalir diantara motor. Pada saat ditutup kembali, arus meningkat kembali.

Pada gambar 3-8 menampilkan torsi elektromagnetik dari motor 40 hp, 150 hp, dan 200 hp. Ketika sumber diputus torsi tidak nol karena arus stator masih mengalir diantara motor dan arus rotor tidak nol. Torsi elektromagnetik dari ketiga motor mencapai nilai negatif yang tinggi setelah sumber dihubungkan kembali ke motor. Torsi negatif yang tinggi dapat dikontrol dengan membatasi arus phasa motor dengan menggunakan detektor phasa.

Pada gambar 3-10b menunjukkan karakteristik kecepatan sudut ketika terjadi gangguan tiga phasa terbuka yang disimulasikan selama 134 ms (8 Cycles), terjadi penurunan kecepatan rotor tetapi setelah 134 ms kecepatan kembali meningkat sampai mencapai kecepatan steady state. Selama gangguan, perubahan kecepatan yang terbesar terjadi pada motor 200 hp, karena motor ini memiliki momen inersia yang terkecil diantara motor lainnya.

Pada gambar 3-10c menunjukkan karakteristik kecepatan sudut ketika terjadi gangguan satu fasa ke tanah yang disimulasikan selama 16 ms (0.9 Cycles), terjadi penurunan kecepatan rotor tetapi setelah 16 ms kecepatan kembali meningkat sampai mencapai kecepatan steady state. Selama gangguan, perubahan kecepatan yang terbesar terjadi pada motor 150 hp, karena motor ini memiliki momen inersia yang terbesar diantara motor lainnya.



BAB IV

KESIMPULAN

BAB IV

PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi multimesin selama terjadi gangguan pada sumber daya listrik dapat kiranya diambil suatu kesimpulan sebagai berikut:

1. Bila tiba-tiba terjadi gangguan tiga fasa terbuka dan satu fasa ke tanah sesaat, maka pada motor 40 Hp, motor 150 Hp, dan motor 200 Hp arus statornya tidak langsung nol (gambar 3-5, gambar 3-6, dan gambar 3-7), torsiya juga tidak nol (gambar 3-8), dan kecepatan sudutnya mengalami penurunan (gambar 3-10). Besarnya perubahan yang terjadi dipengaruhi oleh momen inersia, lama gangguan dan besarnya beban.
2. Bila gangguan sesaat telah hilang, maka kinerja masing-masing mesin kembali meningkat hingga mencapai kondisi steady state.
3. Hasil simulasi dapat dipakai untuk setting proteksi arus motor

4.2 Saran

Ada beberapa hal yang kiranya dapat dikembangkan lebih lanjut dari penelitian ini misalnya:

- a. Kontrol multimesin dan pengaturan koordinasi kerja proteksinya dengan kemungkinan penerapan kecerdasan buatan.
- b. Masalah yang berkaitan dengan starting multimesin



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

1. R. H. Park, [1929], Two-Reaction Theory of Synchronous Machines-Generalized Method of Analysis – Part I, AIEE Trans., Vol. 48, July, pp. 716-727
2. H.C. Stanley, [1938], An Analysis of the Induction Motor, AIEE Trans., Vol 57 (Supplement), pp. 751-755
3. G. Kron, [1951], Equivalent Circuits of Electric Machinery, John Willey and Sons, Inc., New York, N.Y.
4. D.S. Brereton, D.G. Lewis, and C. G. Young, [1957], Representation of Induction Motor Loads During Power System Stability Studies, AIEE Trans., Vol. 76, August, pp. 451-461
5. Paul C Krause [1965], Simulation of Symmetrical Induction Machinery, IEEE Trans. On Power Apparatur and Systems, Vol. 84, November, pp. 1038-1053
6. Wasyl Janischewskyj, Prabhashankar Kundur, [1972], Simulation of The Non Linear Dynamic Response of Interconnected Synchronous Machines, IEEE Trans. On Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-91, September/October
7. Paul C Krause, F Nozari, T. L. Skvarenina, [1979], The Theory of Neglecting Stator Transients, IEEE Trans. On Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-98, No.1, January/February, pp/ 141-148

8. R.H Daugherty, [1982], Analysis of Transient Electrical Torques and Shaft Torques in Induction Motor as a Result of Power Supply Disturbance, IEEE Trans. On Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-101, No. 8, August
9. Lipo, T.A., [1984], Class Note of Electric Drive - Dynamic and Control, University of Wisconsin, Madison
10. F.D. Rodriguez, O. Wasynczuk, [1987], A Method of Representing Isolated Operation of a Group of Induction Motor Loads, IEEE Trans. On Power Systems, Vol. PWRS-2, No. 3, August, pp. 568-575
11. Paul C. Krause, [1987], Analysis of Electric Machinery, Mc Graw-Hill Inc
12. Gill G Richards, [1989], Reduced Order Models For An Induction Motor Group During Bus Transfer, IEEE Trans. On Power Systems, Vol. 4 No. 2, May, pp. 494-498
13. Soebagio, [1990], Operasi Tidak Simetri Motor Induksi Tiga Phasa Yang Simetri, Laporan Penelitian, Jurusan Elektro-ITS, Surabaya
14. John R. Smith, [1990], Response Analysis of A.C. Electrical Machines : Computer Models and Simulation, John Willey & Sons Inc
15. Jeffrey S Mayer, O. Wasynczuk, [1991], An Efficient Method of Simulating Stiffly Connected Power Systems With Stator and Network Transients Included, IEEE Trans. On Power Systems, Vol. 6 No. 3, August, pp. 922-929
16. Gordon R. Slemon, [1992], Electric Machines and Drives, Addison-Willey Inc, Massachusetts
17. John R. Smith, Meng-Jen Chen, [1993], Three-phase Electrical Machine Systems: Computer Simulation, Research Studies Press Ltd, England

18. Key, Thomas S., [1995], Predicting Behavior of Induction Motor During Service Faults and Interruption, IEEE Industrial App. Magazine, January/February
19. Akpinar, K., P. Pillay, [1996], G.G. Richard, Induction Motor Drive Behavior during Unbalanced Fault, Electric Power Research
20. Jeffrey S Mayer, [1996], An Efficient Method of Simulating the Detailed Electromechanical Response of Industrial Power Systems, IEEE Trans. On Industry Applications, Vol. 32, March/April, pp. 480-487
21. E. Akpinar, P. Pillay, S.M.A Sabur, [1997], Modelling of Multimachine Transients During Unbalanced Power Systems Disturbance, Electric Power Systems Research, July, pp.17-20
22. Soebagio, Ida Bagus Gede Manuaba, [1999], Analisis Simulasi Multimesin Selama Gangguan Pada Suplai Listrik, Proceedings Workshop and Siminary On 3rd Power Electronics and Electrical Machinery (WPE III), ITB, Bandung



LAMPIRAN

LAMPIRAN

A. Metode Numerik

A.1 Umum

Metode numerik adalah teknik untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang diformulasikan secara sistematis dengan cara operasi hitungan/aritmatik. Dalam metode numerik ini dilakukan operasi hitungan dalam jumlah yang sangat banyak dan berulang-ulang. Oleh karena itu diperlukan bantuan komputer untuk melaksanakan operasi hitungan tersebut.

A.2 Metode Runge-Kutta

Pada penjelasan diatas telah diturunkan persamaan-persamaan motor induksi untuk simulasi. Persamaan tersebut berbentuk persamaan diferensial simultan. Penyelesaian dari persamaan diferensial ini sulit dipecahkan secara analitis. Metode yang paling cepat untuk mencari penyelesaiannya adalah dengan metode numerik.

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk memecahkan persamaan diferensial simultan seperti diatas secara numerik. Salah satu dari metode yang populer adalah Metode Runge-Kutta. Bentuk umum dari metode Runge-Kutta adalah:

$$Y_{i+1} = y_i + \theta(x_i, y_i, h)h$$

(A.1)

dengan $\theta(x_i, y_i, h)h$ adalah fungsi pertambahan yang merupakan representasi kemiringan pada interval. Fungsi pertambahan dapat ditulis dalam bentuk umum :

$$\theta = a_1 k_1 + a_2 k_2 + \dots + a_n k_n$$

(A.2)

dengan a adalah sebuah konstanta dan k adalah:

$$k_1 = f(x_i, y_i)$$

$$k_2 = f(x_i + \rho_1 h, y_i + a_{11} k_1 h)$$

$$k_3 = f(x_i + \rho_2 h, y_i + a_{21} k_1 h + a_{22} k_2 h)$$

\vdots

$$k_n = f(x_i + \rho_{n-1} h, y_i + a_{n-1,1} k_1 h + a_{n-1,2} k_2 h + \dots + \dots + a_{n-1,n-1} k_{n-1} h)$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa nilai k mempunyai hubungan berurutan.

Nilai k_1 muncul dalam persamaan k_2 , yang keduanya juga muncul dalam persamaan k_3 , dan seterusnya. Hubungan yang berurutan ini membuat metode Runge-Kutta adalah efisien untuk hitungan komputer.

Ada beberapa tipe metode Runge-Kutta yang tergantung pada nilai n yang digunakan. Untuk $n=1$, yang disebut metode Runge-Kutta orde satu

$$\theta = a_1 k_1 = a_1 f(x_i, y_i)$$

(A.3)

untuk $a_1 = 1$ maka

$$y_{i+1} = y_i + \theta(x_i, y_i)h$$

(A.4)

A.2.1 Metode Runge-Kutta Orde Tiga

Metode Runge-Kutta orde tiga diturunkan dengan cara yang sama dengan orde dua untuk nilai $n = 3$. Hasilnya adalah 6 persamaan dengan 8 bilangan tak

diketahui. Oleh karena itu 2 bilangan tak diketahui harus ditetapkan untuk mendapatkan 6 bilangan tak diketahui lainnya. Hasil yang biasa digunakan:

$$y_{i+1} = y_i + \left[\frac{1}{6} (k_1 + 4k_2 + k_3) \right] h$$

(A.5)

dengan

$$k_1 = f(x_i, y_i)$$

$$k_2 = f\left(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}k_1h\right)$$

$$k_3 = f(x_i + h, y_i - k_1h + 2k_2h)$$

A.2.2 Metode Runge-Kutta Orde Empat

Bentuk umum persamaan metode Runge-Kutta orde empat adalah sebagai berikut ini

$$y_{i+1} = y_i + \left[\frac{1}{6} (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \right] h$$

(A.6)

dengan

$$k_1 = f(x_i, y_i)$$

$$k_2 = f\left(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}k_1h\right)$$

$$k_3 = f\left(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}k_2h\right)$$

$$k_4 = f(x_i + h, y_i + k_1h)$$

A.2.3 Metode Runge-Kutta Orde Tinggi

Bentuk umum metode Runge-Kutta orde tinggi atau disebut Metode Runge-Kutta Klasik orde lima adalah sebagai berikut

$$y_{i+1} = y_i + \left[\frac{1}{90}(7k_1 + 32k_3 + 14k_4 + 32k_5 + 7k_6) \right] h$$

(A.7)

dengan

$$k_1 = f(x_i, y_i)$$

$$k_2 = f(x_i + \frac{1}{4}h, y_i + \frac{1}{4}k_1h)$$

$$k_3 = f(x_i + \frac{1}{4}h, y_i + \frac{1}{8}k_1h + \frac{1}{8}k_2h)$$

$$k_4 = f(x_i + \frac{1}{2}h, y_i - \frac{1}{2}k_1h + k_3h)$$

$$k_5 = f(x_i + \frac{3}{4}h, y_i + \frac{3}{16}k_1h + \frac{9}{16}k_4h)$$

$$k_6 = f(x_i + h, y_i - \frac{3}{7}k_1h + \frac{2}{7}k_2h + \frac{12}{7}k_3h - \frac{12}{7}k_4h + \frac{8}{7}k_5h)$$

A.2.4 Metode Runge-Kutta Fehlberg

Metode ini merupakan modifikasi dari metode Runge-Kutta klasik orde lima. Pertimbangan menggunakan metode Runge-Kutta Fehlberg adalah seringkali terjadi perubahan drastis dari besaran-besaran yang disimulasikan, sehingga diperlukan tingkat ketelitian yang tinggi. Disamping itu dengan metode ini, error yang terjadi dapat diketahui sehingga error tersebut dapat dikontrol sampai ke tingkat yang diinginkan dengan memperkecil selang waktu.

Bentuk umum persamaan metode Runge-Kutta Fehlberg adalah

$$y_{i+1} = y_i + \left[\frac{16}{135}k_1 + \frac{6656}{12825}k_3 + \frac{28561}{56430}k_4 - \frac{9}{50}k_5 + \frac{2}{55}k_6 \right] h$$

(A.8)

dimana

$$k_1 = 2f(x_i, y_i)$$

$$k_2 = f(x_i + \frac{1}{4}h, y_i + \frac{1}{4}k_1h)$$

$$k_3 = f(x_i + \frac{3}{8}h, y_i + \frac{3}{32}k_1h + \frac{9}{32}k_2h)$$

$$k_4 = f(x_i + \frac{12}{13}h, y_i + \frac{1932}{2197}k_1h - \frac{7200}{2197}k_2h + \frac{7296}{2197}k_3h)$$

$$k_5 = f(x_i + h, y_i + \frac{439}{216}k_1h - 8k_2h + \frac{3680}{513}k_3h - \frac{845}{4104}k_4h)$$

$$k_6 = f(x_i + \frac{1}{2}h, y_i - \frac{8}{27}k_1h + 2k_2h - \frac{3544}{2565}k_3h + \frac{1859}{4104}k_4h - \frac{11}{40}k_5h)$$

dengan perkiraan kesalahan (error estimate) yang terjadi adalah

$$E_a = \left[\frac{1}{360}k_1 - \frac{128}{4275}k_3 - \frac{2197}{75240}k_4 + \frac{1}{50}k_5 + \frac{2}{55}k_6 \right] h$$

(A.9)

Dari beberapa metode numerik yang ada tersebut, pada simulasi multimesin disini digunakan metode analisa numerik Runge-Kutta Fehlberg. Yangmana dari hasil-hasil integrasi secara numerik akan diperoleh gambaran keadaan dinamik dari mesin-mesin induksi dalam keadaan akselerasi.

B. Listing Program

B.1 Mesin

Disini listing untuk satu mesin dengan menggunakan bahasa pemrograman delphi 3.0

Unit Mesin1;

interface

Uses DataMesin;

Function fFQS1(T,FQS_FDS_FOS_FQR_FDR_FOR:extended):extended;
 Function fFDS1(T,FQS_FDS_FOS_FQR_FDR_FOR:extended):extended;
 Function fFOS1(T,FQS_FDS_FOS_FQR_FDR_FOR:extended):extended;
 Function fFQR1(T,FQS_FDS_FOS_FQR_FDR_FOR:extended):extended;
 Function fFDR1(T,FQS_FDS_FOS_FQR_FDR_FOR:extended):extended;
 Function fFOR1(T,FQS_FDS_FOS_FQR_FDR_FOR:extended):extended;
 Procedure RungeKuttaF1;
 Procedure HitungArus1;
 Procedure HitungWr1;
 Procedure HitungVQS_VAS_FM1;
 Procedure HitungTorsi1;

implementation

Function fFQS1(T,FQS_FDS_FOS_FQR_FDR_FOR:extended):extended;
 begin

$$fFQS1 := Wb * (VQS1 - W1 / Wb * FDS_ + Rsl a / Xsl a * (FMQ1 - FQS_));$$

 end;
 {}
 Function fFDS1(T,FQS_FDS_FOS_FQR_FDR_FOR:extended):extended;
 begin

$$fFDS1 := Wb * (VDS1 - W1 / Wb * FQS_ + Rsl b / Xsl b * (FMD1 - FDS_));$$

 end;
 {}
 Function fFOS1(T,FQS_FDS_FOS_FQR_FDR_FOR:extended):extended;
 begin

$$fFOS1 := Wb * (VOS1 - Rsl c / Xsl c * FOS_);$$

 end;
 {}
 Function fFQR1(T,FQS_FDS_FOS_FQR_FDR_FOR:extended):extended;
 begin

$$fFQR1 := Wb * (VQR1 - (W1 - Wr1) / Wb * FDR_ + Rrl / Xrl * (FMQ1 - FQR_));$$

 end;
 {}
 Function fFDR1(T,FQS_FDS_FOS_FQR_FDR_FOR:extended):extended;
 begin

$$fFDR1 := Wb * (VDR1 + (W1 - Wr1) / Wb * FQR_ + Rrl / Xrl * (FMD1 - FDR_));$$

 end;
 {}
 Function fFOR1(T,FQS_FDS_FOS_FQR_FDR_FOR:extended):extended;
 begin

$$fFOR1 := Wb * (VOR1 - Rrl / Xrl * FOR_);$$

 end;

Procedure RungeKuttaF1;

Var

K1FQS,K2FQS,K3FQS,K4FQS,K5FQS,K6FQS:extended;
K1FDS,K2FDS,K3FDS,K4FDS,K5FDS,K6FDS:extended;
K1FOS,K2FOS,K3FOS,K4FOS,K5FOS,K6FOS:extended;
K1FQR,K2FQR,K3FQR,K4FQR,K5FQR,K6FQR:extended;
K1FDR,K2FDR,K3FDR,K4FDR,K5FDR,K6FDR:extended;
K1FOR,K2FOR,K3FOR,K4FOR,K5FOR,K6FOR:extended;

begin

{K1}

K1FQS:=2*fQS1(Tawal,FQS1,FDS1,FOS1,FQR1,FDR1,FRO1);
K1FDS:=2*fFDS1(Tawal,FQS1,FDS1,FOS1,FQR1,FDR1,FRO1);
K1FOS:=2*fFOS1(Tawal,FQS1,FDS1,FOS1,FQR1,FDR1,FRO1);
K1FQR:=2*fFQR1(Tawal,FQS1,FDS1,FOS1,FQR1,FDR1,FRO1);
K1FDR:=2*fFDR1(Tawal,FQS1,FDS1,FOS1,FQR1,FDR1,FRO1);
K1FOR:=2*fFOR1(Tawal,FQS1,FDS1,FOS1,FQR1,FDR1,FRO1);

{K2}

K2FQS:=fQS1(Tawal+1/4*H,FQS1+1/4*H*K1FQS, FDS1+1/4*H*K1FDS,
FOS1+1/4*H*K1FOS
FQR1+1/4*H*K1FQR, FDR1+1/4*H*K1FDR,
FRO1+1/4*H*K1FOR);

K2FDS:=fFDS1(Tawal+1/4*H,FQS1+1/4*H*K1FQS, FDS1+1/4*H*K1FDS,
FOS1+1/4*H*K1FOS
FQR1+1/4*H*K1FQR, FDR1+1/4*H*K1FDR,
FRO1+1/4*H*K1FOR);

K2FOS:=fFOS1(Tawal+1/4*H,FQS1+1/4*H*K1FQS, FDS1+1/4*H*K1FDS,
FOS1+1/4*H*K1FOS
FQR1+1/4*H*K1FQR, FDR1+1/4*H*K1FDR,
FRO1+1/4*H*K1FOR);

K2FQR:=fFQR1(Tawal+1/4*H,FQS1+1/4*H*K1FQS, FDS1+1/4*H*K1FDS,
FOS1+1/4*H*K1FOS
FQR1+1/4*H*K1FQR, FDR1+1/4*H*K1FDR,
FRO1+1/4*H*K1FOR);

K2FDR:=fFDR1(Tawal+1/4*H,FQS1+1/4*H*K1FQS, FDS1+1/4*H*K1FDS,
FOS1+1/4*H*K1FOS
FQR1+1/4*H*K1FQR, FDR1+1/4*H*K1FDR,
FRO1+1/4*H*K1FOR);

K2FOR:=fFOR1(Tawal+1/4*H,FQS1+1/4*H*K1FQS, FDS1+1/4*H*K1FDS,
FOS1+1/4*H*K1FOS
FQR1+1/4*H*K1FQR, FDR1+1/4*H*K1FDR,
FRO1+1/4*H*K1FOR);

{K3}

K3FQS:=fQS1(Tawal+3/8*H,FQS1+3/32*H*K1FQS+9/32*H*K2FQS,
FDS1+3/32*H*K1FDS+9/32*H*K2FDS,
FOS1+3/32*H*K1FOS+9/32*H*K2FOS,
FQR1+3/32*H*K1FQR+9/32*H*K2FQR,
FDR1+3/32*H*K1FDR+9/32*H*K2FDR,
FRO1+3/32*H*K1FOR+9/32*H*K2FOR);
K3FDS:=fFDS1(Tawal+3/8*H,FQS1+3/32*H*K1FQS+9/32*H*K2FQS,
FDS1+3/32*H*K1FDS+9/32*H*K2FDS,
FOS1+3/32*H*K1FOS+9/32*H*K2FOS,
FQR1+3/32*H*K1FQR+9/32*H*K2FQR,

FDR1+3/32*H*K1FDR+9/32*H*K2FDR,
FRO1+3/32*H*K1FOR+9/32*H*K2FOR);

K3FOS:=fFOS1(Tawal+3/8*H,FQS1+3/32*H*K1FQS+9/32*H*K2FQS,
FDS1+3/32*H*K1FDS+9/32*H*K2FDS,
FOS1+3/32*H*K1FOS+9/32*H*K2FOS,
FQR1+3/32*H*K1FQR+9/32*H*K2FQR,
FDR1+3/32*H*K1FDR+9/32*H*K2FDR,
FRO1+3/32*H*K1FOR+9/32*H*K2FOR);

K3FQR:=fFQR1(Tawal+3/8*H,FQS1+3/32*H*K1FQS+9/32*H*K2FQS,
FDS1+3/32*H*K1FDS+9/32*H*K2FDS,
FOS1+3/32*H*K1FOS+9/32*H*K2FOS,
FQR1+3/32*H*K1FQR+9/32*H*K2FQR,
FDR1+3/32*H*K1FDR+9/32*H*K2FDR,
FRO1+3/32*H*K1FOR+9/32*H*K2FOR);

K3FDR:=fFDR1(Tawal+3/8*H,FQS1+3/32*H*K1FQS+9/32*H*K2FQS,
FDS1+3/32*H*K1FDS+9/32*H*K2FDS,
FOS1+3/32*H*K1FOS+9/32*H*K2FOS,
FQR1+3/32*H*K1FQR+9/32*H*K2FQR,
FDR1+3/32*H*K1FDR+9/32*H*K2FDR,
FRO1+3/32*H*K1FOR+9/32*H*K2FOR);

K3FOR:=fFOR1(Tawal+3/8*H,FQS1+3/32*H*K1FQS+9/32*H*K2FQS,
FDS1+3/32*H*K1FDS+9/32*H*K2FDS,
FOS1+3/32*H*K1FOS+9/32*H*K2FOS,
FQR1+3/32*H*K1FQR+9/32*H*K2FQR,
FDR1+3/32*H*K1FDR+9/32*H*K2FDR,
FRO1+3/32*H*K1FOR+9/32*H*K2FOR);

{K4}

K4FQS:=fFQS1(Tawal+12/13*H,FQS1+1932/2197*H*K1FQS-
7200/2197*H*K2FQS+7296/2197*H*K3FQS,
FDS1+1932/2197*H*K1FDS-
7200/2197*H*K2FDS+7296/2197*H*K3FDS,
FOS1+1932/2197*H*K1FOS-
7200/2197*H*K2FOS+7296/2197*H*K3FOS,
FQR1+1932/2197*H*K1FQR-
7200/2197*H*K2FQR+7296/2197*H*K3FQR,
FDR1+1932/2197*H*K1FDR-
7200/2197*H*K2FDR+7296/2197*H*K3FDR,
FRO1+1932/2197*H*K1FOR-
7200/2197*H*K2FOR+7296/2197*H*K3FOR);

K4FDS:=fFDS1(Tawal+12/13*H,FQS1+1932/2197*H*K1FQS-
7200/2197*H*K2FQS+7296/2197*H*K3FQS,
FDS1+1932/2197*H*K1FDS-
7200/2197*H*K2FDS+7296/2197*H*K3FDS,
FOS1+1932/2197*H*K1FOS-
7200/2197*H*K2FOS+7296/2197*H*K3FOS,
FQR1+1932/2197*H*K1FQR-
7200/2197*H*K2FQR+7296/2197*H*K3FQR,
FDR1+1932/2197*H*K1FDR-
7200/2197*H*K2FDR+7296/2197*H*K3FDR,
FRO1+1932/2197*H*K1FOR-
7200/2197*H*K2FOR+7296/2197*H*K3FOR);

K4FOS:=fFOS1(Tawal+12/13*H,FQS1+1932/2197*H*K1FQS-
7200/2197*H*K2FQS+7296/2197*H*K3FOS,

FDS1+1932/2197*H*K1FDS-
 7200/2197*H*K2FDS+7296/2197*H*K3FDS,
 FOS1+1932/2197*H*K1FOS-
 7200/2197*H*K2FOS+7296/2197*H*K3FOS,
 FQR1+1932/2197*H*K1FQR-
 7200/2197*H*K2FQR+7296/2197*H*K3FQR,
 FDR1+1932/2197*H*K1FDR-
 7200/2197*H*K2FDR+7296/2197*H*K3FDR,
 FRO1+1932/2197*H*K1FOR-
 7200/2197*H*K2FOR+7296/2197*H*K3FOR);
 K4FQR:=fFQR1(Tawal+12/13*H,FQS1+1932/2197*H*K1FQS-
 7200/2197*H*K2FQS+7296/2197*H*K3FQS,
 FDS1+1932/2197*H*K1FDS-
 7200/2197*H*K2FDS+7296/2197*H*K3FDS,
 FOS1+1932/2197*H*K1FOS-
 7200/2197*H*K2FOS+7296/2197*H*K3FOS,
 FQR1+1932/2197*H*K1FQR-
 7200/2197*H*K2FQR+7296/2197*H*K3FQR,
 FDR1+1932/2197*H*K1FDR-
 7200/2197*H*K2FDR+7296/2197*H*K3FDR,
 FRO1+1932/2197*H*K1FOR-
 7200/2197*H*K2FOR+7296/2197*H*K3FOR);
 K4FDR:=fFDR1(Tawal+12/13*H,FQS1+1932/2197*H*K1FQS-
 7200/2197*H*K2FQS+7296/2197*H*K3FQS,
 FDS1+1932/2197*H*K1FDS-
 7200/2197*H*K2FDS+7296/2197*H*K3FDS,
 FOS1+1932/2197*H*K1FOS-
 7200/2197*H*K2FOS+7296/2197*H*K3FOS,
 FQR1+1932/2197*H*K1FQR-
 7200/2197*H*K2FQR+7296/2197*H*K3FQR,
 FDR1+1932/2197*H*K1FDR-
 7200/2197*H*K2FDR+7296/2197*H*K3FDR,
 FRO1+1932/2197*H*K1FOR-
 7200/2197*H*K2FOR+7296/2197*H*K3FOR);
 K4FOR:=fFOR1(Tawal+12/13*H,FQS1+1932/2197*H*K1FQS-
 7200/2197*H*K2FQS+7296/2197*H*K3FQS,
 FDS1+1932/2197*H*K1FDS-
 7200/2197*H*K2FDS+7296/2197*H*K3FDS,
 FOS1+1932/2197*H*K1FOS-
 7200/2197*H*K2FOS+7296/2197*H*K3FOS,
 FQR1+1932/2197*H*K1FQR-
 7200/2197*H*K2FQR+7296/2197*H*K3FQR,
 FDR1+1932/2197*H*K1FDR-
 7200/2197*H*K2FDR+7296/2197*H*K3FDR,
 FRO1+1932/2197*H*K1FOR-
 7200/2197*H*K2FOR+7296/2197*H*K3FOR);
 {K5}
 K5FQS:=fFQS1(Tawal+H,FQS1+439/216*H*K1FQS-8*H*K2FQS+3680/513*H*K3FQS-
 845/4104*H*K4FQS,
 FDS1+439/216*H*K1FDS-8*H*K2FDS+3680/513*H*K3FDS-
 845/4104*H*K4FDS,
 FOS1+439/216*H*K1FOS-8*H*K2FOS+3680/513*H*K3FOS-
 845/4104*H*K4FOS,

845/4104*H*K4FQR,
 845/4104*H*K4FDR,
 845/4104*H*K4FOR);
 K5FDS:=fFDS1(Tawal+H,FQS1+439/216*H*K1FQS-8*H*K2FQS+3680/513*H*K3FQS-
 845/4104*H*K4FQS,
 845/4104*H*K4FDS,
 845/4104*H*K4FOS,
 845/4104*H*K4FQR,
 845/4104*H*K4FDR,
 845/4104*H*K4FOR);
 K5FOS:=fFOS1(Tawal+H,FQS1+439/216*H*K1FQS-8*H*K2FQS+3680/513*H*K3FQS-
 845/4104*H*K4FQS,
 845/4104*H*K4FDS,
 845/4104*H*K4FOS,
 845/4104*H*K4FQR,
 845/4104*H*K4FDR,
 845/4104*H*K4FOR);
 K5FQR:=fFQR1(Tawal+H,FQS1+439/216*H*K1FQS-8*H*K2FQS+3680/513*H*K3FQS-
 845/4104*H*K4FQS,
 845/4104*H*K4FDS,
 845/4104*H*K4FOS,
 845/4104*H*K4FQR,
 845/4104*H*K4FDR,
 845/4104*H*K4FOR);
 K5FDR:=fFDR1(Tawal+H,FQS1+439/216*H*K1FQS-8*H*K2FQS+3680/513*H*K3FQS-
 845/4104*H*K4FQS,
 845/4104*H*K4FDS,
 845/4104*H*K4FOS,
 845/4104*H*K4FQR,
 845/4104*H*K4FDR,
 845/4104*H*K4FOR);

FQR1+439/216*H*K1FQR-8*H*K2FQR+3680/513*H*K3FQR-
 FDR1+439/216*H*K1FDR-8*H*K2FDR+3680/513*H*K3FDR-
 FRO1+439/216*H*K1FOR-8*H*K2FOR+3680/513*H*K3FOR-
 FDS1+439/216*H*K1FDS-8*H*K2FDS+3680/513*H*K3FDS-
 FOS1+439/216*H*K1FOS-8*H*K2FOS+3680/513*H*K3FOS-
 FQR1+439/216*H*K1FQR-8*H*K2FQR+3680/513*H*K3FQR-
 FDR1+439/216*H*K1FDR-8*H*K2FDR+3680/513*H*K3FDR-
 FRO1+439/216*H*K1FOR-8*H*K2FOR+3680/513*H*K3FOR-
 FDS1+439/216*H*K1FDS-8*H*K2FDS+3680/513*H*K3FDS-
 FOS1+439/216*H*K1FOS-8*H*K2FOS+3680/513*H*K3FOS-
 FQR1+439/216*H*K1FQR-8*H*K2FQR+3680/513*H*K3FQR-
 FDR1+439/216*H*K1FDR-8*H*K2FDR+3680/513*H*K3FDR-
 FRO1+439/216*H*K1FOR-8*H*K2FOR+3680/513*H*K3FOR-
 FDS1+439/216*H*K1FDS-8*H*K2FDS+3680/513*H*K3FDS-
 FOS1+439/216*H*K1FOS-8*H*K2FOS+3680/513*H*K3FOS-
 FQR1+439/216*H*K1FQR-8*H*K2FQR+3680/513*H*K3FQR-
 FDR1+439/216*H*K1FDR-8*H*K2FDR+3680/513*H*K3FDR-
 FRO1+439/216*H*K1FOR-8*H*K2FOR+3680/513*H*K3FOR-
 FDS1+439/216*H*K1FDS-8*H*K2FDS+3680/513*H*K3FDS-
 FOS1+439/216*H*K1FOS-8*H*K2FOS+3680/513*H*K3FOS-
 FQR1+439/216*H*K1FQR-8*H*K2FQR+3680/513*H*K3FQR-
 FDR1+439/216*H*K1FDR-8*H*K2FDR+3680/513*H*K3FDR-
 FRO1+439/216*H*K1FOR-8*H*K2FOR+3680/513*H*K3FOR-

$K5FOR := fFOR1(Tawal + H, FQS1 + 439/216 * H * K1FQS - 8 * H * K2FQS + 3680/513 * H * K3FQS -$
 $845/4104 * H * K4FQS,$
 $FDS1 + 439/216 * H * K1FDS - 8 * H * K2FDS + 3680/513 * H * K3FDS -$
 $845/4104 * H * K4FDS,$
 $FOS1 + 439/216 * H * K1FOS - 8 * H * K2FOS + 3680/513 * H * K3FOS -$
 $845/4104 * H * K4FOS,$
 $FQR1 + 439/216 * H * K1FQR - 8 * H * K2FQR + 3680/513 * H * K3FQR -$
 $845/4104 * H * K4FQR,$
 $FDR1 + 439/216 * H * K1FDR - 8 * H * K2FDR + 3680/513 * H * K3FDR -$
 $845/4104 * H * K4FDR,$
 $FRO1 + 439/216 * H * K1FOR - 8 * H * K2FOR + 3680/513 * H * K3FOR -$
 $845/4104 * H * K4FOR);$
 $\{K6\}$
 $K6FQS := fFQS1(Tawal + 1/2 * H, FQS1 - 8/27 * H * K1FQS + 2 * H * K2FQS -$
 $3544/2565 * H * K3FQS + 1859/4104 * H * K4FQS - 11/40 * H * K5FQS,$
 $FDS1 - 8/27 * H * K1FDS + 2 * H * K2FDS -$
 $3544/2565 * H * K3FDS + 1859/4104 * H * K4FDS - 11/40 * H * K5FDS,$
 $FOS1 - 8/27 * H * K1FOS + 2 * H * K2FOS -$
 $3544/2565 * H * K3FOS + 1859/4104 * H * K4FOS - 11/40 * H * K5FOS,$
 $FQR1 - 8/27 * H * K1FQR + 2 * H * K2FQR -$
 $3544/2565 * H * K3FQR + 1859/4104 * H * K4FQR - 11/40 * H * K5FQR,$
 $FDR1 - 8/27 * H * K1FDR + 2 * H * K2FDR -$
 $3544/2565 * H * K3FDR + 1859/4104 * H * K4FDR - 11/40 * H * K5FDR,$
 $FRO1 - 8/27 * H * K1FOR + 2 * H * K2FOR -$
 $3544/2565 * H * K3FOR + 1859/4104 * H * K4FOR - 11/40 * H * K5FOR);$
 $K6FDS := fFDS1(Tawal + 1/2 * H, FQS1 - 8/27 * H * K1FQS + 2 * H * K2FQS -$
 $3544/2565 * H * K3FQS + 1859/4104 * H * K4FQS - 11/40 * H * K5FQS,$
 $FDS1 - 8/27 * H * K1FDS + 2 * H * K2FDS -$
 $3544/2565 * H * K3FDS + 1859/4104 * H * K4FDS - 11/40 * H * K5FDS,$
 $FOS1 - 8/27 * H * K1FOS + 2 * H * K2FOS -$
 $3544/2565 * H * K3FOS + 1859/4104 * H * K4FOS - 11/40 * H * K5FOS,$
 $FQR1 - 8/27 * H * K1FQR + 2 * H * K2FQR -$
 $3544/2565 * H * K3FQR + 1859/4104 * H * K4FQR - 11/40 * H * K5FQR,$
 $FDR1 - 8/27 * H * K1FDR + 2 * H * K2FDR -$
 $3544/2565 * H * K3FDR + 1859/4104 * H * K4FDR - 11/40 * H * K5FDR,$
 $FRO1 - 8/27 * H * K1FOR + 2 * H * K2FOR -$
 $3544/2565 * H * K3FOR + 1859/4104 * H * K4FOR - 11/40 * H * K5FOR);$
 $K6FOS := fFOS1(Tawal + 1/2 * H, FQS1 - 8/27 * H * K1FQS + 2 * H * K2FQS -$
 $3544/2565 * H * K3FQS + 1859/4104 * H * K4FQS - 11/40 * H * K5FQS,$
 $FDS1 - 8/27 * H * K1FDS + 2 * H * K2FDS -$
 $3544/2565 * H * K3FDS + 1859/4104 * H * K4FDS - 11/40 * H * K5FDS,$
 $FOS1 - 8/27 * H * K1FOS + 2 * H * K2FOS -$
 $3544/2565 * H * K3FOS + 1859/4104 * H * K4FOS - 11/40 * H * K5FOS,$
 $FQR1 - 8/27 * H * K1FQR + 2 * H * K2FQR -$
 $3544/2565 * H * K3FQR + 1859/4104 * H * K4FQR - 11/40 * H * K5FQR,$
 $FDR1 - 8/27 * H * K1FDR + 2 * H * K2FDR -$
 $3544/2565 * H * K3FDR + 1859/4104 * H * K4FDR - 11/40 * H * K5FDR,$
 $FRO1 - 8/27 * H * K1FOR + 2 * H * K2FOR -$
 $3544/2565 * H * K3FOR + 1859/4104 * H * K4FOR - 11/40 * H * K5FOR);$
 $K6FQR := fFQR1(Tawal + 1/2 * H, FQS1 - 8/27 * H * K1FQS + 2 * H * K2FQS -$
 $3544/2565 * H * K3FQS + 1859/4104 * H * K4FQS - 11/40 * H * K5FQS,$
 $FDS1 - 8/27 * H * K1FDS + 2 * H * K2FDS -$
 $3544/2565 * H * K3FDS + 1859/4104 * H * K4FDS - 11/40 * H * K5FDS,$


```

FOS1-8/27*H*K1FOS+2*H*K2FOS-
3544/2565*H*K3FOS+1859/4104*H*K4FOS-11/40*H*K5FOS,
FQR1-8/27*H*K1FQR+2*H*K2FQR-
3544/2565*H*K3FQR+1859/4104*H*K4FQR-11/40*H*K5FQR,
FDR1-8/27*H*K1FDR+2*H*K2FDR-
3544/2565*H*K3FDR+1859/4104*H*K4FDR-11/40*H*K5FDR,
FRO1-8/27*H*K1FOR+2*H*K2FOR-
3544/2565*H*K3FOR+1859/4104*H*K4FOR-11/40*H*K5FOR);
K6FDR:=fFDR1(Tawal+1/2*H,FQS1-8/27*H*K1FQS+2*H*K2FQS-
3544/2565*H*K3FQS+1859/4104*H*K4FQS-11/40*H*K5FQS,
FDS1-8/27*H*K1FDS+2*H*K2FDS-
3544/2565*H*K3FDS+1859/4104*H*K4FDS-11/40*H*K5FDS,
FOS1-8/27*H*K1FOS+2*H*K2FOS-
3544/2565*H*K3FOS+1859/4104*H*K4FOS-11/40*H*K5FOS,
FQR1-8/27*H*K1FQR+2*H*K2FQR-
3544/2565*H*K3FQR+1859/4104*H*K4FQR-11/40*H*K5FQR,
FDR1-8/27*H*K1FDR+2*H*K2FDR-
3544/2565*H*K3FDR+1859/4104*H*K4FDR-11/40*H*K5FDR,
FRO1-8/27*H*K1FOR+2*H*K2FOR-
3544/2565*H*K3FOR+1859/4104*H*K4FOR-11/40*H*K5FOR);
K6FOR:=fFOR1(Tawal+1/2*H,FQS1-8/27*H*K1FQS+2*H*K2FQS-
3544/2565*H*K3FQS+1859/4104*H*K4FQS-11/40*H*K5FQS,
FDS1-8/27*H*K1FDS+2*H*K2FDS-
3544/2565*H*K3FDS+1859/4104*H*K4FDS-11/40*H*K5FDS,
FOS1-8/27*H*K1FOS+2*H*K2FOS-
3544/2565*H*K3FOS+1859/4104*H*K4FOS-11/40*H*K5FOS,
FQR1-8/27*H*K1FQR+2*H*K2FQR-
3544/2565*H*K3FQR+1859/4104*H*K4FQR-11/40*H*K5FQR,
FDR1-8/27*H*K1FDR+2*H*K2FDR-
3544/2565*H*K3FDR+1859/4104*H*K4FDR-11/40*H*K5FDR,
FRO1-8/27*H*K1FOR+2*H*K2FOR-
3544/2565*H*K3FOR+1859/4104*H*K4FOR-11/40*H*K5FOR);
{Update Function}
FQS1:=FQS1+(16/135*K1FQS+6656/12825*K3FQS+28561/56430*K4FQS-
9/50*K5FQS+2/55*K6FQS)*H;
FDS1:=FDS1+(16/135*K1FDS+6656/12825*K3FDS+28561/56430*K4FDS-
9/50*K5FDS+2/55*K6FDS)*H;
FOS1:=FOS1+(16/135*K1FOS+6656/12825*K3FOS+28561/56430*K4FOS-
9/50*K5FOS+2/55*K6FOS)*H;
FQR1:=FQR1+(16/135*K1FQR+6656/12825*K3FQR+28561/56430*K4FQR-
9/50*K5FQR+2/55*K6FQR)*H;
FDR1:=FDR1+(16/135*K1FDR+6656/12825*K3FDR+28561/56430*K4FDR-
9/50*K5FDR+2/55*K6FDR)*H;
FRO1:=FRO1+(16/135*K1FOR+6656/12825*K3FOR+28561/56430*K4FOR-
9/50*K5FOR+2/55*K6FOR)*H;
end;
{}

```


Procedure HitungArus1;

begin

 IQS1:=1/Xs1a*(FQS1-FMQ1);

 IDS1:=1/Xs1b*(FDS1-FMD1);

 IOS1:=1/Xs1c*FOS1;

 {}

 IQR1:=1/Xr1*(FQR1-FMQ1);

 IDR1:=1/Xr1*(FDR1-FMD1);

 IOR1:=1/Xr1*FRO1;

 {}

 IAS1:=Sqrt(2/3) * (IQS1*Cos(2*pi*frek*Tawal) + IDS1*Sin(2*pi*frek*Tawal) + IOS1);

 IBS1:=Sqrt(2/3) * (IQS1*Cos(2*pi*frek*Tawal-2/3*pi)+IDS1*Sin(2*pi*frek*Tawal-2/3*pi)+IOS1);

 ICS1:=Sqrt(2/3)

 *(IQS1*Cos(2*pi*frek*Tawal+2/3*pi)+IDS1*Sin(2*pi*frek*Tawal+2/3*pi)+IOS1);

 {

 IAS1:=Sqrt(2/3) * (IQS1*Cos(0) + IDS1*Sin(0) + IOS1*(1/Sqrt(2)));

 IBS1:=Sqrt(2/3)*(IQS1*Cos(-2/3*pi)+IDS1*Sin(-2/3*pi)+IOS1*(1/Sqrt(2)));

 ICS1:=Sqrt(2/3)*(IQS1*Cos(+2/3*pi)+IDS1*Sin(+2/3*pi)+IOS1*(1/Sqrt(2)));

 }

end;

Function fWr1(T,Wr_:extended):extended;

begin

 {}

 {fWr1:=(K1/(2*J1))*(Te1+Tl1)-Bm1/J1*Wr_);}

 fWr1:=(K1/(2*J1))*(Te1+Tl1)-Bm1/J1*Wr_;

end;

Procedure HitungWr1;

Var

 K1Wr,K2Wr,K3Wr,K4Wr,K5Wr,K6Wr:extended;

begin

 K1Wr:=2*fWr1(Tawal,Wr1);

 K2Wr:=fWr1(Tawal+1/4*H,Wr1+1/4*H*K1Wr);

 K3Wr:=fWr1(Tawal+3/8*H,Wr1+3/32*H*K1Wr+9/32*H*K2Wr);

 K4Wr:=fWr1(Tawal+12/13*H,Wr1+1932/2197*H*K1Wr-

7200/2197*H*K2Wr+7296/2197*H*K3Wr);

 K5Wr:=fWr1(Tawal+H,Wr1+439/216*H*K1Wr-8*H*K2Wr+3680/513*H*K3Wr-845/4104*H*K4Wr);

 K6Wr:=fWr1(Tawal+1/2*H,Wr1-8/27*H*K1Wr+2*H*K2Wr-

3544/2565*H*K3Wr+1859/4104*H*K4Wr-11/40*H*K5Wr);

 {Update function}

 Wr1:=(Wr1+(16/135*K1Wr-6656/12825*K3Wr+28561/56430*K4Wr-9/50*K5Wr+2/55*K6Wr)*H);

end;

```

Procedure HitungVQS_VAS_FMI;
begin

```

```

    If Tawal*1000>=St1 then begin
        VQS1:=Sqrt(2/3)*( VAS1*cos(2*pi*frek*Tawal) + VBS1*cos(2*pi*frek*Tawal-2/3*pi) +
        VCS1*cos(2*pi*frek*Tawal+2/3*pi) );
        VDS1:=Sqrt(2/3)*( VAS1*sin(2*pi*frek*Tawal) + VBS1*sin(2*pi*frek*Tawal-2/3*pi) +
        VCS1*sin(2*pi*frek*Tawal+2/3*pi) );
        VOS1:=Sqrt(1/3)*( VAS1+VBS1+VCS1 );

    {   VQS1:=Sqrt(2/3)*( VAS1*cos(0) + VBS1*cos(0-2/3*pi) + VCS1*cos(2/3*pi) );
        VDS1:=Sqrt(2/3)*( VAS1*sin(0) + VBS1*sin(0-2/3*pi) + VCS1*sin(2/3*pi) );
        VOS1:=Sqrt(1/3)*( VAS1+VBS1+VCS1 );
    }

    end;
    {}
    {   VAS1:=VsystemA*cos(2*pi*frek*Tawal);
        VBS1:=VsystemB*cos(2*pi*frek*Tawal-2/3*pi);
        VCS1:=VsystemC*cos(2*pi*frek*Tawal+2/3*pi);
    }
    VAS1:=VsystemA*cos(2*pi*frek*Tawal);
    VBS1:=VsystemB*cos(2*pi*frek*Tawal+2/3*pi);
    VCS1:=VsystemC*cos(2*pi*frek*Tawal-2/3*pi);
    {}
    FMQ1:=Xaq1*(FQS1/Xs1a+FQR1/Xr1);
    FMD1:=Xaq1*(FDS1/Xs1b+FDR1/Xr1);
    {}
end;

```

```

Procedure HitungTorsi1;

```

```

begin
    Tel:=K1/(2*Wb)*(FQR1*IDR1-FDR1*IQR1);
end;
end.

```

```

unit DataInput;

```

```

interface

```

```

uses

```

```

    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms,
    Dialogs,
    StdCtrls, ExtCtrls;

```

```

type

```

```

    TForm2 = class(TForm)
        GroupBox1: TGroupBox;
        Label1: TLabel;
        Label2: TLabel;
        Label3: TLabel;
        Label4: TLabel;
        Label5: TLabel;
        Label6: TLabel;
        Label7: TLabel;

```

```
Label8: TLabel;  
Label31: TLabel;  
ERs1: TEdit;  
EXs1: TEdit;  
ERr1: TEdit;  
EXr1: TEdit;  
EXm1: TEdit;  
EJ1: TEdit;  
ET11: TEdit;  
EBm1: TEdit;  
EK1: TEdit;  
GroupBox2: TGroupBox;  
Label9: TLabel;  
Label10: TLabel;  
Label11: TLabel;  
Label12: TLabel;  
Label13: TLabel;  
Label14: TLabel;  
Label15: TLabel;  
Label16: TLabel;  
Label32: TLabel;  
ERs2: TEdit;  
EXs2: TEdit;  
ERr2: TEdit;  
EXr2: TEdit;  
EXm2: TEdit;  
EJ2: TEdit;  
ET12: TEdit;  
EBm2: TEdit;  
EK2: TEdit;  
GroupBox3: TGroupBox;  
Label17: TLabel;  
Label18: TLabel;  
Label19: TLabel;  
Label20: TLabel;  
Label21: TLabel;  
Label22: TLabel;  
Label23: TLabel;  
Label24: TLabel;  
Label33: TLabel;  
EBm3: TEdit;  
ET13: TEdit;  
EJ3: TEdit;  
EXm3: TEdit;  
EXr3: TEdit;  
EXs3: TEdit;  
EK3: TEdit;  
GroupBox4: TGroupBox;  
Label25: TLabel;  
Label30: TLabel;  
Label28: TLabel;  
Label29: TLabel;  
Label26: TLabel;  
Label27: TLabel;
```



```

EVA: TEdit;
EVb: TEdit;
EVc: TEdit;
EH: TEdit;
EFrek: TEdit;
ETmax: TEdit;
Timer1: TTimer;
Button1: TButton;
ERs3: TEdit;
ERr3: TEdit;
GroupBox5: TGroupBox;
Label34: TLabel;
ETstrt: TEdit;
Label35: TLabel;
ETlama: TEdit;
Label36: TLabel;
Rba: TCheckBox;
Rbb: TCheckBox;
Rbc: TCheckBox;
OpenDialog1: TOpenDialog;
SaveDialog1: TSaveDialog;
Button2: TButton;
Button3: TButton;
EST1: TEdit;
EST2: TEdit;
EST3: TEdit;
Label37: TLabel;
Label38: TLabel;
Label39: TLabel;
RKetanah: TRadioButton;
ERf: TEdit;
Label40: TLabel;
RTerbuka: TRadioButton;
ELf: TEdit;
Label41: TLabel;
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure Timer1Timer(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);
procedure FormActivate(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
  Procedure TransferValue;
  Procedure GetValue;
  Procedure LoadFile;
  Procedure SaveFile;
end;

Const
  CHeader='MultiMachineData';

```

```

Type
  TData=record
    Header:string[16];
    Rs1,Rs2,Rs3:extended;
    Xs1,Xs2,Xs3:extended;
    Rr1,Rr2,Rr3:extended;
    Xr1,Xr2,Xr3:extended;
    Xm1,Xm2,Xm3:extended;
    J1,J2,J3:extended;
    TL1,TL2,TL3:extended;
    Bm1,Bm2,Bm3:extended;
    K1,K2,K3:extended;
    Va,Vb,Vc:extended;
    H,Tmax,Frek:extended;
    Tstrt:extended;
    Tlama:integer;
    St1,St2,St3:integer;
    Off1,Off2,Off3:boolean;
    Rf,Lf:extended;
    JnsGang:boolean;
  end;
var
  Form2: TForm2;
  DFile: File of Tdata;
  Fname:string;
  BRead:Tdata;

implementation

Uses DataMesin,Mesin1,Mesin2,Mesin3, Motor;
{$R *.DFM}

Procedure TForm2.TransferValue;
Var
  Ths,Dcs:char;
begin
  (Nilai awal umum)
  Ths:=ThousandSeparator;
  Dcs:=DecimalSeparator;
  ThousandSeparator:=#0;
  DecimalSeparator:= '.';
  {}
  EH.Text:=FloatToStr(H);
  ETmax.Text:=FloatToStr(Tmax);
  EFrek.Text:=FloatToStr(frek);
  EVa.Text:=FloatToStr(VsystemA);
  EVb.Text:=FloatToStr(VsystemB);
  EVc.Text:=FloatToStr(VsystemC);
  ETstrt.Text:=FloatToStr(Tstrt);
  ETLama.Text:=IntToStr(Tlama);
  {}
  RKet tanah.checked:=JnsGang;
  RTerbuka.checked:=Not(JnsGang);
  ERf.text:=FloatToStr(Rf);

```

```

ELf.text:=FloatToStr(Lf);
{}
Rba.checked:=Mloff;
Rbb.checked:=M2off;
Rbc.checked:=M3off;
{Nilai awal Mesin1}
EXm1.Text:=FloatToStr(Xm1);
ERs1.Text:=FloatToStr(Rs1a);Rs1b:=Rs1a;Rs1c:=Rs1a;
EXs1.Text:=FloatToStr(Xs1a);Xs1b:=Xs1a;Xs1c:=Xs1a;
ERr1.Text:=FloatToStr(Rr1);
EXr1.Text:=FloatToStr(Xr1);
EST1.Text:=FloatToStr(St1);
{}
EJ1.Text:=FloatToStr(J1);
ET11.Text:=FloatToStr(T11);
EK1.Text:=FloatToStr(K1);
EBm1.Text:=FloatToStr(Bm1);
{Nilai awal Mesin2}
EXm2.Text:=FloatToStr(Xm2);
ERs2.Text:=FloatToStr(Rs2a);Rs2b:=Rs2a;Rs2c:=Rs2a;
EXs2.Text:=FloatToStr(Xs2a);Xs2b:=Xs2a;Xs2c:=Xs2a;
ERr2.Text:=FloatToStr(Rr2);
EXr2.Text:=FloatToStr(Xr2);
EST2.Text:=FloatToStr(St2);
{}
EJ2.Text:=FloatToStr(J2);
ET12.Text:=FloatToStr(T12);
EK2.Text:=FloatToStr(K2);
EBm2.Text:=FloatToStr(Bm2);
{}
{Nilai awal Mesin3}
EXm3.Text:=FloatToStr(Xm3);
ERs3.Text:=FloatToStr(Rs3a);Rs3b:=Rs3a;Rs3c:=Rs3a;
EXs3.Text:=FloatToStr(Xs3a);Xs3b:=Xs3a;Xs3c:=Xs3a;
ERr3.Text:=FloatToStr(Rr3);
EXr3.Text:=FloatToStr(Xr3);
EST3.Text:=FloatToStr(St3);
{}
EJ3.Text:=FloatToStr(J3);
ET13.Text:=FloatToStr(T13);
EK3.Text:=FloatToStr(K3);
EBm3.Text:=FloatToStr(Bm3);
{}
ThousandSeparator:=Ths;
DecimalSeparator:=Dcs;
{}
end;

Procedure TForm2.GetValue;
Var
  K:integer;
begin
  {Nilai awal umum}

```



```

    Val (EH.Text, H, K); If (K <> 0) or (H >= 0.007) then
Form2.ActiveControl:=EH;
    Val (ETmax.Text, Tmax, K); If (K <> 0) or (Tmax <= 0) then
Form2.ActiveControl:=ETmax;
    Val (Eva.Text, VsystemA, K); If (K <> 0) or (VsystemA < 0) then
Form2.ActiveControl:=EVA;
    Val (EVb.Text, VsystemB, K); If (K <> 0) or (VsystemB < 0) then
Form2.ActiveControl:=EVb;
    Val (Evc.Text, VsystemC, K); If (K <> 0) or (VsystemC < 0) then
Form2.ActiveControl:=EVC;
    Val (EFrek.Text, Frek, K); If (K <> 0) or (Frek <= 0) then
Form2.ActiveControl:=EFrek;
    ()
    Val (ETstrt.Text, Tstrt, K); If K <> 0 then
Form2.ActiveControl:=ETstrt;
    Val (ETlama.Text, Tlama, K); If K <> 0 then
Form2.ActiveControl:=ETlama;
    ()
    Mloff:=Rba.checked;
    M2off:=Rbb.checked;
    M3off:=Rbc.checked;
    ()
    Val (ERf.Text, Rf, K); If (K <> 0) or (Rf < 0) then
Form2.ActiveControl:=ERf;
    Val (ELf.Text, Lf, K); If (K <> 0) or (Lf <= 0) then
Form2.ActiveControl:=ELf;
    ()
    JnsGang:=RKetanah.checked;
    If JnsGang then begin
        Label40.Enabled:=true;
        Label41.Enabled:=true;
        ERf.Enabled:=true;
        ELf.Enabled:=true;
    end else begin
        Label40.Enabled:=false;
        Label41.Enabled:=false;
        ERf.Enabled:=false;
        ELf.Enabled:=false;
    end;
    (Nilai awal Mesin1)
    Val (EXml.Text, Xml, K); If (K <> 0) or (Xml <= 0.01) then
Form2.ActiveControl:=EXml;
    Val (ERsl.Text, Rsla, K); Rslb:=Rsla; Rslc:=Rsla;
    If (K <> 0) then Form2.ActiveControl:=ERsl;
    Val (EXsl.Text, Xsla, K); Xslb:=Xsla; Xslc:=Xsla;
    If (K <> 0) or (Xsla <= 0) then Form2.ActiveControl:=EXsl;
    Val (ERRl.Text, Rrl, K); If K <> 0 then Form2.ActiveControl:=ERRl;
    Val (EXrl.Text, Xrl, K); If (K <> 0) or (Xrl <= 0) then
Form2.ActiveControl:=EXrl;
    Val (ESTl.Text, Stl, K); If (K <> 0) or (Stl < 0) then
Form2.ActiveControl:=ESTl;
    ()
    Val (EJl.Text, Jl, K); If K <> 0 then Form2.ActiveControl:=EJl;
    Val (ETl1.Text, Tl1, K); If K <> 0 then Form2.ActiveControl:=ETl1;

```

```

    Val(EK1.Text,K1,K);If (K<>0)or(K1<=1) then
Form2.ActiveControl:=EK1;
    Val(EBm1.Text,Bm1,K);If K<>0 then Form2.ActiveControl:=EBm1;

    (Nilai awal Mesin2)
    Val(EXm2.Text,Xm2,K);If (K<>0)or(Xm2<=0) then
Form2.ActiveControl:=EXm2;
    Val(ERs2.Text,Rs2a,K);Rs2b:=Rs2a;Rs2c:=Rs2a;If K<>0 then
Form2.ActiveControl:=ERs2;
    Val(EXs2.Text,Xs2a,K);Xs2b:=Xs2a;Xs2c:=Xs2a;If
(K<>0)or(Xs2a<=0) then Form2.ActiveControl:=EXs2;
    Val(ERr2.Text,Rr2,K);If K<>0 then Form2.ActiveControl:=ERr2;
    Val(EXr2.Text,Xr2,K);If (K<>0)or(Xr2<=0) then
Form2.ActiveControl:=EXr2;
    Val(EST2.Text,St2,K);If (K<>0)or(St2<0) then
Form2.ActiveControl:=EST2;
    {}
    Val(EJ2.Text,J2,K);If K<>0 then Form2.ActiveControl:=EJ2;
    Val(ETl2.Text,Tl2,K);If K<>0 then Form2.ActiveControl:=ETl2;
    Val(EK2.Text,K2,K);If (K<>0)or(K2<=1) then
Form2.ActiveControl:=EK2;
    Val(EBm2.Text,Bm2,K);If K<>0 then Form2.ActiveControl:=EBm2;

    (Nilai awal Mesin3)
    Val(EXm3.Text,Xm3,K);If (K<>0)or(Xm3<=0) then
Form2.ActiveControl:=EXm3;
    Val(ERs3.Text,Rs3a,K);Rs3b:=Rs3a;Rs3c:=Rs3a;If K<>0 then
Form2.ActiveControl:=ERs3;
    Val(EXs3.Text,Xs3a,K);Xs3b:=Xs3a;Xs3c:=Xs3a;If
(K<>0)or(Xs3a<=0) then Form2.ActiveControl:=EXs3;
    Val(ERr3.Text,Rr3,K);If K<>0 then Form2.ActiveControl:=ERr3;
    Val(EXr3.Text,Xr3,K);If (K<>0)or(Xr3<=0) then
Form2.ActiveControl:=EXr3;
    Val(EST3.Text,St3,K);If (K<>0)or(St3<0) then
Form2.ActiveControl:=EST3;
    {}
    Val(EJ3.Text,J3,K);If K<>0 then Form2.ActiveControl:=EJ3;
    Val(ETl3.Text,Tl3,K);If K<>0 then Form2.ActiveControl:=ETl3;
    Val(EK3.Text,K3,K);If (K<>0)or(K3<=1) then
Form2.ActiveControl:=EK3;
    Val(EBm3.Text,Bm3,K);If K<>0 then Form2.ActiveControl:=EBm3;

end;

procedure TForm2.FormCreate(Sender: TObject);
begin
    TransferValue;
    Timer1.Interval:=0;
end;

procedure TForm2.Timer1Timer(Sender: TObject);
begin
    GetValue;
end;

```

```

procedure TForm2.Button1Click(Sender: TObject);
begin
    Close;
    Form1.Enabled:=true;
    Form1.Visible:=true;
    StartDraw:=0;
    EndDraw:=Tmax*1000;
end;

```

```

procedure TForm2.FormClose(Sender: TObject; var Action:
TCloseAction);
begin
    Timer1.Interval:=0;
    Form1.Enabled:=true;
end;

```

```

Procedure TForm2.LoadFile;
Begin
    ($I-)
    AssignFile(DFile,FName);
    Reset(DFile);
    If ioresult=0 then begin
        Read(DFile,Bread);
        CloseFile(DFile);
        If Bread.Header=CHeader then begin
            Form2.Caption:='Multi Machine Data Input [ '+Fname+' ]';
            Rsl1:=Bread.Rs1;Rslb:=Rsl1;Rslc:=Rsl1;
            Rs2a:=Bread.Rs2;Rs2b:=Rs2a;Rs2c:=Rs2a;
            Rs3a:=Bread.Rs3;Rs3b:=Rs3a;Rs3c:=Rs3a;
            Xsl1:=Bread.Xs1;Xslb:=Xsl1;Xslc:=Xsl1;
            Xs2a:=Bread.Xs2;Xslb:=Xs2a;Xs2c:=Xs2a;
            Xs3a:=Bread.Xs3;Xslb:=Xs3a;Xs3c:=Xs3a;
            Rr1:=Bread.Rr1;
            Rr2:=Bread.Rr2;
            Rr3:=Bread.Rr3;
            Xr1:=Bread.Xr1;
            Xr2:=Bread.Xr2;
            Xr3:=Bread.Xr3;
            Xm1:=Bread.Xm1;
            Xm2:=Bread.Xm2;
            Xm3:=Bread.Xm3;
            J1:=Bread.J1;
            J2:=Bread.J2;
            J3:=Bread.J3;
            TL1:=Bread.TL1;
            TL2:=Bread.TL2;
            TL3:=Bread.TL3;
            Bm1:=Bread.Bm1;
            Bm2:=Bread.Bm2;
            Bm3:=Bread.Bm3;
            K1:=Bread.K1;
            K2:=Bread.K2;

```



```

        K3:=Bread.K3;
        VsystemA:=Bread.Va;
        VsystemB:=Bread.Vb;
        VsystemC:=Bread.Vc;
        H:=Bread.H;
        Tmax:=Bread.Tmax;
        Frek:=Bread.Frek;
        Tstrt:=Bread.Tstrt;
        Tlama:=Bread.Tlama;
        M1Off:=Bread.Off1;
        M2Off:=Bread.Off2;
        M3Off:=Bread.Off3;
        St1:=Bread.St1;
        St2:=Bread.St2;
        St3:=Bread.St3;
        JnsGang:=Bread.JnsGang;
        Rf:=Bread.Rf;
        Lf:=Bread.Lf;
        Form2.TransferValue;
        First:=true;
    end else
        Application.MessageBox('Bukan file data / File data rusak
!', 'Error Header', mb_OK);
    end else
        Application.MessageBox('File tidak ditemukan / tidak dapat
dibuka !', 'Error Open', mb_OK);
        ($I+)
    end;

Procedure TForm2.SaveFile;
Var
    Id:integer;
begin
    {$I-}
    Form2.GetValue;
    AssignFile(Dfile, Fname);
    Reset(Dfile);
    Id:=IdOk;
    If IoResult<>0 then Rewrite(Dfile) else
        Id:=Application.MessageBox('File sudah ada ! Overwrite
?', 'Error Saving', mb_OKCancel);
    If Id=IdOk then begin
        Form2.Caption:='Multi Machine Data Input [ '+Fname+' ]';
        {}
        Bread.Header:=CHeader;
        Bread.Rs1:=Rs1a;
        Bread.Rs2:=Rs2a;
        Bread.Rs3:=Rs3a;
        Bread.Xs1:=Xs1a;
        Bread.Xs2:=Xs2a;
        Bread.Xs3:=Xs3a;
        Bread.Rr1:=Rr1;
        Bread.Rr2:=Rr2;
        Bread.Rr3:=Rr3;
    end;
end;

```

```

    Bread.Xr1:=Xr1;
    Bread.Xr2:=Xr2;
    Bread.Xr3:=Xr3;
    Bread.Xm1:=Xm1;
    Bread.Xm2:=Xm2;
    Bread.Xm3:=Xm3;
    Bread.J1:=J1;
    Bread.J2:=J2;
    Bread.J3:=J3;
    Bread.TL1:=TL1;
    Bread.TL2:=TL2;
    Bread.TL3:=TL3;
    Bread.Bm1:=Bm1;
    Bread.Bm2:=Bm2;
    Bread.Bm3:=Bm3;
    Bread.K1:=K1;
    Bread.K2:=K2;
    Bread.K3:=K3;
    Bread.Va:=VsystemA;
    Bread.Vb:=VsystemB;
    Bread.Vc:=VsystemC;
    Bread.H:=H;
    Bread.Tmax:=Tmax;
    Bread.Frek:=Frek;
    Bread.Tstrt:=Tstrt;
    Bread.Tlama:=Tlama;
    Bread.Off1:=M1Off;
    Bread.Off2:=M2Off;
    Bread.Off3:=M3Off;
    Bread.St1:=St1;
    Bread.St2:=St2;
    Bread.St3:=St3;
    {}
    Bread.JnsGang:=JnsGang;
    Bread.Rf:=Rf;
    Bread.Lf:=Lf;
    {}
    Write(DFile,Bread);
    CloseFile(Dfile);
end;
{Si+}
end;

procedure TForm2.Button2Click(Sender: TObject);
begin
    If Form2.OpenDialog1.Execute then begin
        FName:=Form2.OpenDialog1.FileName;
        LoadFile;
    end;
end;

procedure TForm2.Button3Click(Sender: TObject);
begin
    If Form2.SaveDialog1.execute then begin

```

```

        Fname:=Form2.SaveDialog1.FileName;
        SaveFile;
    end;
end;

procedure TForm2.FormActivate(Sender: TObject);
begin
    Timer1.Interval:=1;
end;

end.

unit GTorsi;

interface

uses
    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms,
    Dialogs,
    StdCtrls, ExtCtrls;

type
    TForm3 = class(TForm)
        GroupBox1: TGroupBox;
        GroupBox2: TGroupBox;
        GroupBox3: TGroupBox;
        PaintBox1: TPaintBox;
        PaintBox2: TPaintBox;
        PaintBox3: TPaintBox;
        Button1: TButton;
        Button2: TButton;
        SaveDialog1: TSaveDialog;
        Button3: TButton;
        Button4: TButton;
        Timer1: TTimer;
        procedure PaintBox1Paint(Sender: TObject);
        procedure PaintBox2Paint(Sender: TObject);
        procedure PaintBox3Paint(Sender: TObject);
        procedure Button1Click(Sender: TObject);
        procedure Button2Click(Sender: TObject);
        procedure Button4Click(Sender: TObject);
        procedure Button3Click(Sender: TObject);
        procedure FormShow(Sender: TObject);
        procedure Timer1Timer(Sender: TObject);
    private
        { Private declarations }
    public
        { Public declarations }
    end;

var
    Form3: TForm3;

```


implementation

uses Motor, Clip, Datamesin, DataInput, Progress, Grp, Color, Tabel;

(\$R *.DFM)

```
procedure TForm3.PaintBox1Paint(Sender: TObject);
begin
    PaintBox1.Canvas.Draw(0,0,Gbr1);
end;
```

```
procedure TForm3.PaintBox2Paint(Sender: TObject);
begin
    PaintBox2.Canvas.Draw(0,0,Gbr2);
end;
```

```
procedure TForm3.PaintBox3Paint(Sender: TObject);
begin
    PaintBox3.Canvas.Draw(0,0,Gbr3);
end;
```

```
procedure TForm3.Button1Click(Sender: TObject);
begin
    PrintScale := poProportional;
    Print;
end;
```

```
procedure TForm3.Button2Click(Sender: TObject);
Var
    Pth,Fname,Ext:string;
    Gr1,Gr2,Gr3:Tbitmap;
begin
    GetBitMap(Gr1,440,200,clwhite);
    GetBitMap(Gr2,440,200,clwhite);
    GetBitMap(Gr3,440,200,clwhite);
    {}
    MakeGraph(SbX1^,SbY1^,Gr1,clWhite,clBlack,StX1,StY1);
    MakeGraph(SbX2^,SbY2^,Gr2,clWhite,clBlack,StX2,StY2);
    MakeGraph(SbX3^,SbY3^,Gr3,clWhite,clBlack,StX3,StY3);
    {}
    If SaveDialog1.execute then begin
        Pth:=ExtractFilePath(SaveDialog1.FileName);
        Fname:=ExtractFileName(SaveDialog1.FileName);
        Fname:=Copy(Fname,1,Pos('.',Fname)-1);
        Ext:=ExtractFileExt(SaveDialog1.FileName);
        Gr1.SavetoFile(Pth+Fname+'1'+Ext);
        Gr2.SavetoFile(Pth+Fname+'2'+Ext);
        Gr3.SavetoFile(Pth+Fname+'3'+Ext);
    end;
    Gr1.Destroy;
    Gr2.Destroy;
    Gr3.Destroy;
end;
```

```

procedure TForm3.Button4Click(Sender: TObject);
begin
    Form3.Close;
    {}
end;

procedure TForm3.Button3Click(Sender: TObject);
begin
    {}
    DrawMode:=0;
    {}
    Form1.Enabled:=false;
    Form2.Enabled:=false;
    Form3.Enabled:=false;
    Form4.Enabled:=false;
    Form5.Enabled:=false;
    Form6.Enabled:=false;
    Form7.Enabled:=false;
    {}
    Form8.TrackBar1.Max:=Round(Tmax*1000);
    Form8.TrackBar2.Max:=Round(Tmax*1000);
    Form8.TrackBar2.Position:=Round(Tmax*1000);
    Form8.Timer1.Interval:=1;
    Form8.show;
end;

procedure TForm3.FormShow(Sender: TObject);
begin
    If SbX1=@PWr1 then Form3.Button3.Enabled:=false else
    Form3.Button3.Enabled:=true;
    {}
end;

procedure TForm3.Timer1Timer(Sender: TObject);
begin
    If (SbX1=@PWr1) or (SbX2=@PWr2) or (SbX3=@PWr3) then
    Form3.Button3.Enabled:=false else
    Form3.Button3.Enabled:=true;
end;

end.

```

B.2 Program Utama

```
program MultiM;  
  
uses  
  Forms,  
  Motor in 'Motor.pas' (Form1),  
  DataInput in 'DataInput.pas' (Form2),  
  GTorsi in 'GTorsi.pas' (Form3),  
  Progress in 'Progress.pas' (Form4),  
  Grp in 'Grp.pas' (Form5),  
  Color in 'Color.pas' (Form6),  
  Tabel in 'Tabel.pas' (Form7),  
  Clip in 'Clip.pas' (Form8);  
  
{$R *.RES}  
  
begin  
  Application.Initialize;  
  Application.CreateForm(TForm1, Form1);  
  Application.CreateForm(TForm2, Form2);  
  Application.CreateForm(TForm3, Form3);  
  Application.CreateForm(TForm4, Form4);  
  Application.CreateForm(TForm5, Form5);  
  Application.CreateForm(TForm6, Form6);  
  Application.CreateForm(TForm7, Form7);  
  Application.CreateForm(TForm8, Form8);  
  Application.Run;  
end.
```